



TUGAS AKHIR - EE 184801

KONTROL *LOAD FOLLOWER* PADA INVERTER TERHUBUNG *GRID* UNTUK SISTEM FOTOVOLTAIK

Tegar Aji Nugroho
NRP 07111645000002

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - EE 184801

KONTROL *LOAD FOLLOWER* PADA INVERTER TERHUBUNG *GRID* UNTUK SISTEM FOTOVOLTAIK

Tegar Aji Nugroho
NRP 07111645000002

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE 184801

***LOAD FOLLOWER CONTROL ON GRID CONNECTED
INVERTER FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM***

Tegar Aji Nugroho
NRP 07111645000002

Advisors
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

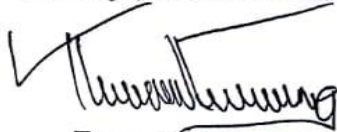
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**KONTROL LOAD FOLLOWER PADA INVERTER TERHUBUNG GRID UNTUK SISTEM FOTOVOLTAIK**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 21 Januari 2019



Tegar Aji Nugroho
NRP 07111645000002

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**KONTROL LOAD FOLLOWER PADA INVERTER TERHUBUNG
GRID UNTUK SISTEM FOTOVOLTAIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada
Bidang Studi Sistem Tenaga Listrik
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I,

21-01-19

Dosen Pembimbing II,

22/1/19

Dedet Candra. R., ST., M.Eng., Ph.D

NIP. 197311192000031001

Vita Lystianingrum B. P., ST., M.Sc., Ph.D.

NIP. 198208292006042001



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KONTROL *LOAD FOLLOWER* PADA INVERTER TERHUBUNG *GRID* UNTUK SISTEM FOTOVOLTAIK

Nama : Tegar Aji Nugroho
Pembimbing I : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Pembimbing II : Vita Lystianingrum B. P., ST., M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Potensi energi surya di Indonesia sangat baik, rata-rata 4,80 kWh/m²/hari. Hal ini mendorong masyarakat untuk beralih menggunakan photovoltaic (PV) sebagai sumber energi listrik yang murah dan ramah lingkungan. Pemanfaatan daya luaran dari PV untuk mensuplai beban rumah tangga dilakukan dengan mengubah tegangan dan arus luaran PV dari DC (*Direct Current*) menjadi AC (*Alternating Current*) menggunakan inverter. Inverter dapat dioperasikan secara *stand-alone (off grid)* atau terkoneksi dengan *grid (on grid)*. Inverter yang terkoneksi dengan *grid* akan terdapat keadaan saat Daya Beban (P_{load}) > Daya PV (P_{PV}) dan $P_{load} < P_{PV}$. Pada keadaan saat $P_{load} > P_{PV}$ yaitu pada Beban 120 W, 100 W, dan 80 W, maka inverter beroperasi memaksimalkan daya luaran inverter ($P_{Inverter}$) pada daya 64,2 W. Selanjutnya pada saat $P_{load} < P_{PV}$ yaitu pada Beban di bawah 60 W, maka inverter akan menyalurkan daya sebesar daya yang dibutuhkan oleh beban lokal sehingga tidak terjadi *export* daya ke *Grid*. Inverter dioperasikan dengan metode *Current Controlled Voltage Source Inverter* (CC-VSI) dan menggunakan Teknik *Hysterisis Current Control* (HCC). Dengan mengatur besarnya Arus Referensi (I_{ref}) yang diinputkan, maka $P_{Inverter}$ dapat diatur sebagai mode Maksimum Power (MPPT Mode) atau *Load Follower Mode*.

Kata Kunci : *Photovoltaic*, Inverter, cc-VSI, HCC, MPPT, *Load Follower*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

LOAD FOLLOWER CONTROL ON GRID CONNECTED INVERTER FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Name : Tegar Aji Nugroho

Advisor 1st : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

Advisor 2nd : Vita Lystianingrum Budiharto P., ST., M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

The potential of solar energy in Indonesia is very good, averaging 4.80 kWh / m² / day. This encourages people to switch to using photovoltaic (PV) as a cheap and environmentally friendly source of electricity. The use of PV power to supply local loads is available with changing PVs voltage and current from DC (Direct Current) to AC (Alternating Current) using an Inverter. Inverter can be operating stand-alone (off grid) or grid connected (on grid). Inverter which connected to grid will have condition when Load Power (P_{load}) > PV Power (P_{PV}) and $P_{load} < P_{PV}$. At the moment $P_{load} > P_{PV}$ is at 120 W, 100 W, and 80 W, then the Inverter is operating to get the maximum output power of Inverter ($P_{inverter}$) at 64,2 W. Furthermore, when $P_{load} < P_{PV}$ is at Power Loads under 60 W, the inverter will deliver as many as the power needed by the local loads so there is no power export to grid. Inverter is operated using Current Controlled Voltage Source Inverter (cc-VSI) method and uses Hysteresis current control (HCC) technique. By setting the Reference Current (I_{ref}), P inverter can be set as Maximum Power Mode (MPPT) or Load Follower Mode.

Keywords : Photovoltaic, Inverter, cc-VSI, HCC, MPPT, Load Follower

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir dengan judul **KONTROL LOAD FOLLOWER PADA INVERTER TERHUBUNG GRID UNTUK SISTEM FOTOVOLTAIK** dapat terselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Strata-1 pada Bidang Studi Sistem Tenaga Listrik, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini, penulis ingin berterima kasih kepada pihak-pihak yang membantu pembuatan tugas akhir ini, khususnya kepada :

1. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. dan Vita Lystianingrum Budhiarto Putri, ST., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan bantuan dalam merealisasikan tugas akhir ini.
2. Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir yang terdiri dari Prof. Ir. Ontoseno P., M.Sc., Ph.D., Prof. Dr. Ir. M. Ashari, M.Eng., Heri Suryoatmojo S.T., M.T., Ph.D., dan Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T..
3. Dr.Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS Surabaya, dan seluruh dosen dan karyawan di Departemen Teknik Elektro.
4. Bapak, Ibu dan kakak yang selalu memberikan motivasi dan semangat pada penulis.
5. Teman-teman laboratorium konversi energi yang selalu menemani dan membantu proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman lintas jalur 2016 yang selalu menemani dan membantu proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan dikemudian hari.

Surabaya, 21 Januari 2019

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
 1 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi Penelitian	2
1.6 Sistematika Laporan.....	3
1.7 Relevansi	4
 2 BAB II TEORI DASAR.....	 5
2.1 Sistem Kerja Secara Keseluruhan	5
2.2 PV	6
2.3 Voltage Source Inverter	8
2.4 Kontrol	12
2.4.1 DC Bus <i>Voltage Control</i>	12
2.4.2 Current Control VSI	14
2.4.3 <i>Design Filter</i>	17
2.5 MPPT dan Load Follower	17
2.5.1 Phase Locked Loop	19
 3 BAB III PERANCANGAN SISTEM	 23
3.1 Model PV	23
3.2 Sistem Konverter Boost	23

3.2.1	Menentukan Nilai <i>Set Point</i>	24
3.2.2	Penentuan Nilai Induktor (L_{dc}).....	25
3.3	Sistem VSI.....	26
3.3.1	Teknik <i>Driving</i> Mosfet.....	26
3.3.2	Menentukan nilai filter L_{ac}	28
3.3.3	CC-VSI	31
3.4	Teknik Load Follower	32
3.5	Teknik MPPT.....	35
4	BAB IV PENGUKURAN DAN PENGUJIAN	37
4.1	Mode MPPT (<i>Maksimum Power Point Tracking</i>)	38
4.2	Mode Load Follower	39
4.2.1	Beban 20 W	39
4.2.2	Beban 30 W	40
4.2.3	Beban 40 W	40
4.2.4	Beban 50 W	41
4.2.5	Beban 60 W	42
4.3	Grafik dan Tabel Pengujian	43
5	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1	KESIMPULAN.....	45
5.2	SARAN.....	45
6	DAFTAR PUSTAKA	47
7	LAMPIRAN	49
8	BIODATA PENULIS	59

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 2.1 Sistem Kerja Secara Keseluruhan	5
Gambar 2.2 Rangkaian ekivalen PV	6
Gambar 2.3 Kurva Karakteristik PV	7
Gambar 2.4 Skema VSI	8
Gambar 2.5 <i>Halfbridge</i> VSI.....	9
Gambar 2.6 <i>Fullbridge</i> VSI	9
Gambar 2.7 Pensaklaran Bipolar SPWM.....	9
Gambar 2.8 Pensaklaran Unipolar SPWM.....	10
Gambar 2.9 Unipolar SPWM.....	11
Gambar 2.10 Bipolar SPWM	12
Gambar 2.11 Rangkaian boost Converter	12
Gambar 2.12 Skema DC Buas <i>Voltage Control</i>	14
Gambar 2.13 <i>Current Control</i> VSI	14
Gambar 2.14 Rangkaian <i>Hysterisis Current Control</i>	15
Gambar 2.15 <i>Flowchart</i> MPPT <i>perturb and observe</i>	18
Gambar 2.16 Konsep Aliran daya	18
Gambar 2.17 Gelombang luaran PLL	19
Gambar 2.18 PLL <i>Block Diagram</i>	20
Gambar 3.1 <i>Respons Boost converter</i>	24
Gambar 3.2 Arus ripple L_{dc}	25
Gambar 3.3 Simbol Mosfet.....	26
Gambar 3.4 <i>Typical Output Characteristics</i>	27
Gambar 3.5 Fungsional Blok Diagram FOD3182.....	28
Gambar 3.6 Arus luaran filter dengan $L_{ac} = 0,9862 \text{ mH}$	29
Gambar 3.7 Arus luaran inverter dengan tambahan L sebesar 2,8 mH	30
Gambar 3.8 Overshoot pada fws 20 kHz	31
Gambar 3.9 Konfigurasi LM311	31
Gambar 3.10 Hanya MPPT mode	32
Gambar 3.11 MPPT mode dan <i>Load Follower Mode</i>	32
Gambar 3.12 Simulasi Beban 60 W	33
Gambar 3.13 Simulasi Beban 50 W	33
Gambar 3.14 Simulasi Beban 40 W	34

Gambar 3.15 Simulasi Beban 30 W.....	34
Gambar 3.16 Simulasi Beban 20W.....	34
Gambar 3.17 Daya Maksimum PV	36
Gambar 4.1 Skematis pengujian alat	37
Gambar 4.2 I_{ref} MPP mode	38
Gambar 4.3 Pengujian beban 20 watt	39
Gambar 4.4 Pengujian beban 30 watt	40
Gambar 4.5 Pengujian beban 40 watt	40
Gambar 4.6 Pengujian beban 50 watt	41
Gambar 4.7 Pengujian beban 60 watt	42
Gambar 4.8 Data Variasi Beban	43

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 2.1 Tabel Kebenran JK-FF.....	16
Tabel 3.1 Datasheet PV Solartech SPM-100P	23
Tabel 3.2 Data pengukuran induktansi.....	29
Tabel 3.3 Amplitude I_{ac} Hasil Simulasi dan Perhitungan.....	35
Tabel 4.1 Tabel Pengujian.....	37
Tabel 4.2 Effisiensi Controller.....	38
Tabel 4.3 I_{ac} Pengukuran dan Perhitungan	43

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Potensi energi surya di Indonesia sangat baik, rata-rata 4,80 kWh/m²/hari. Seiring dengan perkembangan teknologi, biaya pembangkitan dari energi surya semakin menurun [1]. Hal ini mendorong masyarakat untuk beralih menggunakan *photovoltaic* (PV) sebagai sumber energi listrik yang murah dan ramah lingkungan [2].

PV dapat secara langsung mengubah energi matahari menjadi energi listrik DC (*Direct Current*). Pemanfaatan daya luaran dari PV untuk mensuplai beban rumah tangga dilakukan dengan mengubah daya keluaran PV dari DC menjadi AC (*Alternating Current*) menggunakan inverter. Inverter dapat dioperasikan secara *stand-alone* (*off grid*) atau terkoneksi dengan *grid* (*on grid*) [3]. Keuntungan yang diperoleh dari *grid connecting inverter* adalah pada saat daya keluaran PV (P_{PV}) kurang dari daya yang dibutuhkan beban lokal (P_{load}) maka *grid* akan mensuplai sejumlah kekurangan yang dibutuhkan.

Secara umum metode untuk menghasilkan luaran daya maksimum dari PV adalah menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [3]. Dengan sistem *on grid* dan metode MPPT, maka akan terdapat keadaan saat P_{PV} melebihi P_{load} sehingga sistem akan mensuplai daya ke *grid* (*Export*). Keadaan saat *export* harus dihindari dikarenakan belum terdapat regulasi dari pemerintah yang mengatur tentang ekspor daya dari PV ke jaringan distribusi tegangan rendah skala kecil sehingga tidak bisa secara serta-merta menjual listrik ke PLN [4,5].

1.2 Permasalahan

Inverter yang terkoneksi dengan *grid* akan terdapat keadaan saat $P_{load} > P_{PV}$ dan $P_{load} < P_{PV}$. Pada saat keadaan $P_{load} > P_{PV}$ inverter akan beroperasi maksimal (*maximum power*), sedangkan pada saat $P_{load} < P_{PV}$ maka inverter akan menyalurkan daya sebesar daya yang dibutuhkan oleh beban lokal sehingga dibutuhkan *Load Follower Control* yang dapat mengatur luaran daya inverter mengikuti beban lokal. *Controller* akan mendapat masukan daya dari beban lokal melalui pembacaan tegangan dan arus yang kemudian dibandingkan dengan daya luaran dari inverter melalui pembacaan tegangan dan arus. Dengan mengatur besarnya arus

referensi maka daya keluaran dari inverter dapat diatur untuk memaksimalkan daya PV atau untuk mengikuti daya yang dibutuhkan beban lokal.

1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Metode yang digunakan adalah current controlled Voltage Source Inverter (cc-VSI).
2. Menggunakan konverter ideal.
3. Jaringan ideal (tidak terdapat harmonisa).
4. PV dipasang pada rumah dengan daya 1300 VA.

1.4 Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah untuk mendesain suatu *controller* yang dapat mengatur luaran daya PV sehingga tidak terjadi *export* daya ke jala-jala.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Persiapan dan Studi Literatur

Tahap awal dalam penelitian ini adalah mencari informasi yang bersumber dari tugas akhir, buku dan jurnal tentang PV dengan metode MPPT, *current controlled* VSI, dan pengaturan luaran daya inverter.

2. Pengumpulan Data

Tahap ini akan dilakukan pengumpulan data tentang daya beban lokal (arus dan tegangan beban lokal), daya luaran PV (arus dan tegangan PV), arus keluaran inverter, tegangan dan frekuensi *grid*.

3. Simulasi dan Pemodelan Sistem

Pemodelan dilakukan dalam bentuk simulasi menggunakan software PSIM 9.0.3. Pemodelan meliputi sumber DC (PV), Control DC Bus, Current Control VSI, beban lokal, dan sumber AC (*grid*). Tujuan dari proses ini adalah untuk membuktikan bahwa Tugas Akhir ini dapat diimplementasikan.

4. Implementasi dan Pengujian

Pada tahap ini akan dilakukan pembuatan alat berdasarkan *design* yang sudah disimulasikan sebelumnya. Pengujian akan

dilakukan untuk memverifikasi hasil dari simulasi yang telah dilakukan.

5. Penulisan Laporan Tugas Akhir

Penulisan laporan Tugas Akhir akan dikerjakan beriringan dengan pengerjaan Tugas Akhir ini

1.6 Sistematika Laporan

Penyelesaian Tugas Akhir ini dilakukan dengan sistematika sebagai berikut :

Bab I PENDAHULUAN

Bab ini diawali Pendahuluan dengan alasan dan tujuan pemilihan Tugas Akhir.

Bab II SISTEM PV TERHUBUNG *GRID*

Bab ini akan berisi penjelasan teori penunjang tentang sistem PV terhubung *grid* dan hal lain yang terkait Tugas Akhir.

Bab III DESAIN DAN IMPLEMENTASI *LOAD FOLLOWER* PADA SISTEM PV TERHUBUNG *GRID*

Berisi tentang simulasi yang dilakukan untuk membuktikan bahwa tugas akhir ini dapat diimplementasikan. Kemudian tahapan dan proses dari pembuatan alat.

Bab IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Berisi data hasil pengukuran dari alat yang telah dibuat kemudian didukung dengan analisa sebagai validasi dari data pengukuran.

Bab V Penutup

Bab Penutup yang berisi kesimpulan dan saran mengenai Tugas Akhir.

1.7 Relevansi

1. Untuk Institusi

Tugas akhir ini dapat dijadikan sebagai tambahan referensi khususnya mengenai aplikasi dari *Load Follower Control* menggunakan metode *current-controlled VSI* dan dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

2. Untuk bidang Ilmu Pengetahuan

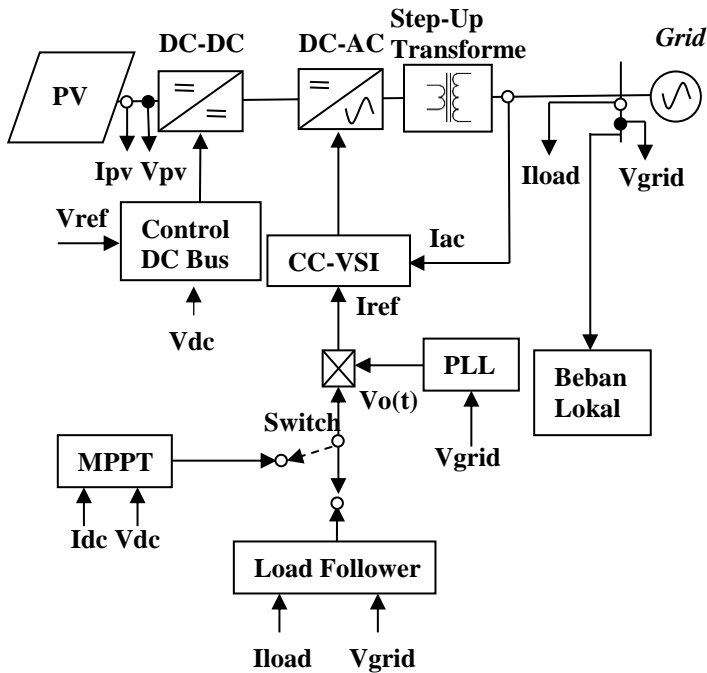
Tugas akhir ini dapat dijadikan sebagai salah satu contoh aplikasi dari ilmu pengetahuan khususnya topik yang diambil yaitu *power electronic*.

BAB II

SISTEM PV TERHUBUNG GRID

Pada BAB ini akan dijabarkan mengenai sistem kerja secara keseluruhan dari alat ini beserta teori yang mendukung dalam simulasi dan pembuatan alat.

2.1 Sistem Kerja Secara Keseluruhan



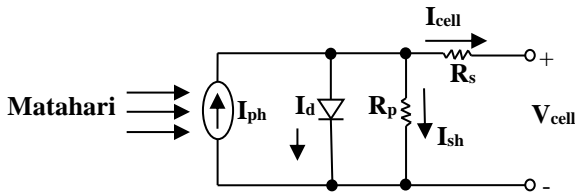
Gambar 2.1 Sistem Kerja Secara Keseluruhan

Sistem kerja alat secara keseluruhan ditunjukkan oleh Gambar 2.1. Rangkaian utama terdiri dari PV, DC-DC konverter, DC-AC konverter, transformator, dan *grid*. Mode pengoperasian dari DC to DC konverter adalah sebagai pengatur tegangan DC dari PV agar tegangan DC yang dihasilkan (V_{dc}) tetap mengikuti tegangan dari referensi yang diberikan (V_{ref}).

Konverter DC to AC digunakan sebagai pengatur daya dan *grid connecting* menggunakan metode CC-VSI. Dengan metode ini inverter akan yang menghasilkan *duty cycle* untuk inverter melalui pembacaan arus referensi (I_{ref}) dan arus aktual (I_{ac}). I_{ref} pada sistem ini akan dibedakan menjadi dua mode operasi, yaitu MPPT dan *Load Follower*. Pengaturan pola operasi dari dua mode tersebut berdasarkan kemampuan PV untuk mensuplai Beban Lokal. Dan dengan adanya PLL maka I_{ref} yang dihasilkan akan selalu sefasa dengan tegangan *grid*, sehingga inverter akan memiliki $\cos \phi$ unity.

2.2 PV

PV terdiri dari bagian kecil yang disebut sel surya yang tersusun secara seri dan paralel untuk mendapatkan tegangan dan arus yang diinginkan [6]. Sel surya akan mengubah energi yang berasal dari cahaya matahari menjadi energi listrik DC. Berikut merupakan rangkaian ekuivalen dari PV:



Gambar 2.2 Rangkaian ekuivalen PV

Dari Gambar 2.2, berlaku persamaan karakteristik PV:

$$I_{cell} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (2.1)$$

I_{ph} (*Photocurrent*) adalah arus internal yang dihasilkan oleh PV yang memiliki nilai sebanding dengan intensitas cahaya matahari. Sedangkan I_{cell} adalah arus yang mengalir keluar dari PV (A) melalui resistansi seri (R_s) saat PV diberi beban. Apabila PV tidak dibebani sama sekali (*open circuit*) maka I_{cell} akan nol dan tegangan pada terminal PV (V_{cell}) akan naik ke nilai maksimumnya. Sebaliknya, apabila PV dihubungkan singkat maka V_{cell} akan nol dan mengalir arus maksimum PV (I_{sc}). Selain arus maksimum, dan *photocurrent*, di dalam PV juga terdapat saturasi arus balik (I_{sh}) yang mengalir pada resistansi paralel (R_p) PV.

$$I_d = I_{sh} * [\exp(\frac{q(V_{cell} + R_s I_{cell})}{nkT}) - 1] \quad (2.2)$$

$$I_{ph} = (I_{sc} + K_I (T - T_{ref})) * \frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \quad (2.3)$$

Adapun persamaan untuk I_d dan I_{ph} ditunjukkan oleh persamaan 2.2 dan 2.3. I_{sh} dapat dicari dengan menggunakan hukum khirchoff pada *loop* tertutup ditunjukkan oleh persamaan 2.4. V_{Rp} adalah tegangan pada R_p akibat adanya arus I_{sh} .

$$V_{Rp} = I_{cell} * R_s + V_{cell} \quad (2.4)$$

$$I_{sh} * R_p = I_{cell} * R_s + V_{cell}$$

$$I_{sh} = \frac{I_{cell} * R_s + V_{cell}}{R_p}$$

Berdasarkan persamaan 2.2 dan 2.4, maka persamaan 2.1 dapat diubah menjadi persamaan 2.5.

$$I_{cell} = I_{ph} - I_{sh} * [\exp(\frac{q(V_{cell} + R_s I_{cell})}{nkT}) - 1] - \frac{I_{cell} * R_s + V_{cell}}{R_p} \quad (2.5)$$

Keterangan:

T = temperature PV dalam °K,

T_{ref} = Suhu referensi PV (°K)

k = Konstanta Boltzman's ($1,38 \times 10^{-23}$)

q = Muatan electron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)

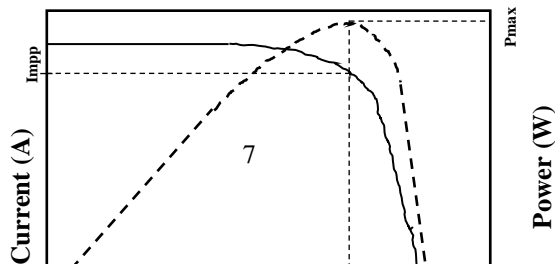
n = Konstanta kualitas diode.

K_I = Koefisien suhu arus (A/K)

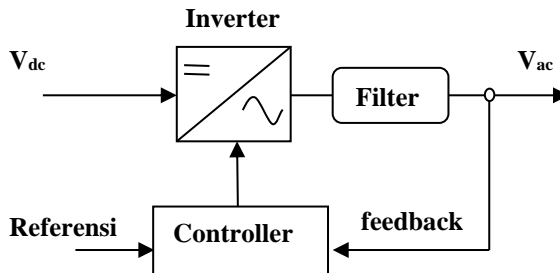
λ = Irradiance (W/m²)

λ_{ref} = Irradiance referensi (W/m²)

Berdasarkan Persamaan 2.3, terdapat 2 faktor utama yang mempengaruhi daya luaran PV yaitu Intensitas cahaya matahari dan temperature PV sehingga kondisi cuaca akan sangat mempengaruhi luaran daya PV. Karakteristik PV ditunjukkan oleh gambar Gambar 2.3.



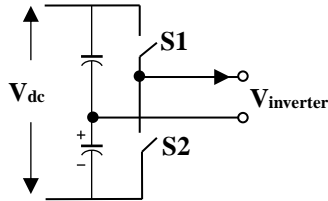
2.3 Voltage Source Inverter



Gambar 2.4 Skema VSI

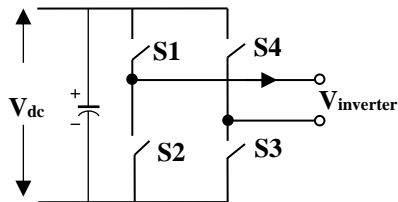
Inverter adalah peralatan pengkonversi energi dari DC menjadi AC. Secara sederhana sekmatik cara kerja inverter ditunjukkan oleh Gambar 2.4. Suatu rangkaian kontrol akan mengirim sinyal untuk mengoperasikan saklar pada inverter setelah membandingkan Referensi dan *feedback* yang dimiliki. Inverter akan menghasilkan gelombang kotak yang kemudian difilter dan dibandingkan lagi dengan referensi sehingga didapat gelombang yang sesuai dengan Referensi.

Inverter dapat dioperasikan sebagai *Current Source Inverter* (CSI) atau *Voltage Source Inverter* (VSI). Terdapat dua jenis VSI berdasarkan level tegangan yang dihasilkan, yaitu *halfbridge* VSI dan *fullbridge* VSI. *Halfbridge* VSI terdiri dari 2 buah kapasitor dan 2 buah saklar semikonduktor seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.5. Pada *Halfbridge* VSI tegangan maksimum saat saklar S1 on dan S2 off adalah sebesar 0,5V_{dc} dan -0,5V_{dc} saat saklar S2 on dan S1 off.

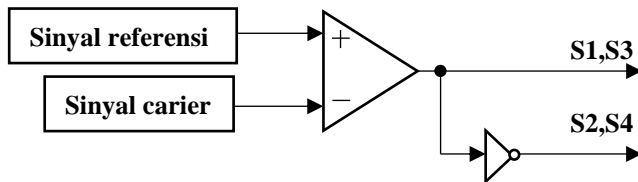


Gambar 2.5 Halfbridge VSI

Pada *Fullbridge* VSI terdiri dari 4 buah saklar dan sebuah kapasitor seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Pengoperasian pada 4 saklar (S1, S2, S3, dan S4) untuk menghasilkan gelombang sinus dapat dilakukan dengan menggunakan Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) [7]. Gelombang SPWM dibentuk dari hasil perbandingan sinyal referensi dengan sinyal segitiga frekuensi tinggi (carrier). Berdasarkan teknik pengoperasian saklar, terdapat 2 jenis SPWM yaitu Bipolar SPWM dan Unipolar SPWM.



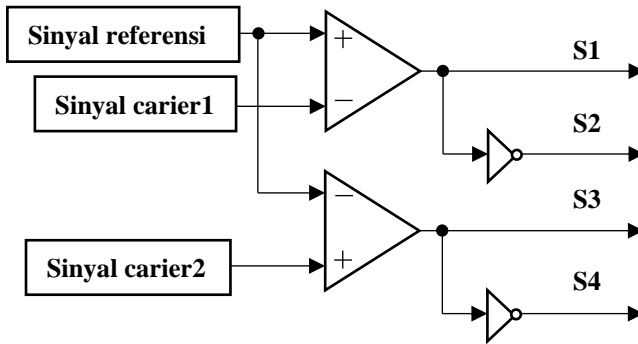
Gambar 2.6 Fullbridge VSI



Gambar 2.7 Pensaklaran Bipolar SPWM

Teknik pensaklaran bipolar ditunjukkan oleh Gambar 2.7. Rangkaian penyusun dari Bipolar SPWM memiliki 1 buah comparator untuk membandingkan Sinyal referensi dengan Sinyal carier, dan 1 buah *not gate* untuk membuat logika yang selalu berlawanan. Pada saat sinyal referensi lebih tinggi dari sinyal carier maka saklar S1 dan S3 on (*closed*)

dan S2 dan S4 akan off (*open*) sehingga arus mengalir melalui S1 menuju beban dan kembali melalui S3. Sedangkan pada saat sinyal referensi lebih kecil dari sinyal carier maka S2 dan S4 akan on dan S1 dan S3 akan off, sehingga arus mengalir melalui S4 menuju beban dan kembali melalui S2. Bentuk Sinyal modulasi dari Bipolar SPWM ditunjukkan oleh Gambar 2.10.



Gambar 2.8 Pensaklaran Unipolar SPWM

Teknik Pensaklaran Unipolar SPWM ditunjukkan oleh Gambar 2.8. Unipolar SPWM terdiri dari 2 buah rangkaian modulasi. Sinyal carier yang digunakan berbeda dengan teknik Bipolar yaitu memiliki 2 polaritas, pada Unipolar SPWM Sinyal carier1 hanya memiliki polaritas positif dan Sinyal carier2 hanya memiliki polaritas negative. Pada saat Sinyal referensi berada pada polaritas positif, maka saklar 4 akan *on* dan saklar 3 akan *off*, kemudian saklar 1 akan *on* dan saklar 2 *off* pada saat Sinyal referensi lebih dari Sinyal carier1 dan saklar 1 *off* dan saklar 2 *on* ada saat Sinyal referensi kurang dari Sinyal carier1. Selanjutnya pada polaritas negative, saklar 2 *on* dan saklar 1 *off*. Kemudian saklar 3 *on* dan saklar 4 *off* pada saat Sinyal referensi kurang dari Sinyal carier2. Sedangkan Pada saat Sinyal referensi lebih dari sunyal Carier2 maka saklar 4 *on* dan saklar 3 *off* [8]. Bentuk Sinyal modulasi dari Unipolar ditunjukkan oleh Gambar 2.10.

Besarnya amplitude tegangan yang dihasilkan pada unipolar dan Bipolar adalah sebesar V_{dc} pada polaritas *positive* dan $-V_{dc}$ pada polaritas *negative*. Gelombang modulasi dari Bipolar dan Unipolar SPWM ditunjukkan oleh **Gambar 2.10** dan Gambar 2.9.

Inverter dapat dioperasikan *stand alone* atau *grid connected*. Pola operasi *stand alone* yaitu inverter yang langsung terhubung dan mensuplai beban tanpa tambahan dari sumber lain. Pada pola operasi *grid connected*, inverter akan terhubung dengan *grid* untuk bersama-sama mensuplai beban.

Secara umum *grid connected* diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu *voltage source inverter* (VSI) dan *current source inverter* (CSI). Sebagian besar aplikasi *grid connecting inverter* dengan sumber PV adalah *voltage source inverter*. Syarat suatu VSI dapat melakukan sinkronisasi dengan *grid* adalah memiliki bentuk gelombang, sudut fasa, dan frekuensi yang sama [9].

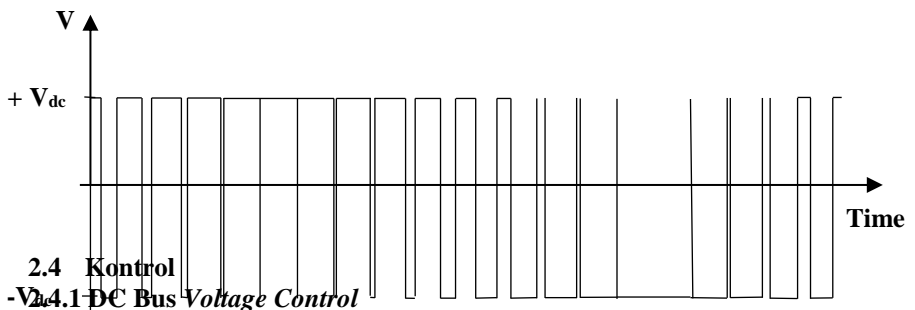
Terdapat nilai V_{dc} minimum agar pada aplikasi *grid connected* yang harus terpenuhi. Apabila tidak terpenuhi maka Inverter justru tidak berfungsi sebagai sumber melainkan sebagai beban. Persamaan untuk menentukan V_{dc} minimal ditunjukkan oleh persamaan 2.6

$$V_{dc} = \frac{V_{grid} * 1.414}{mi} \quad 2.6$$

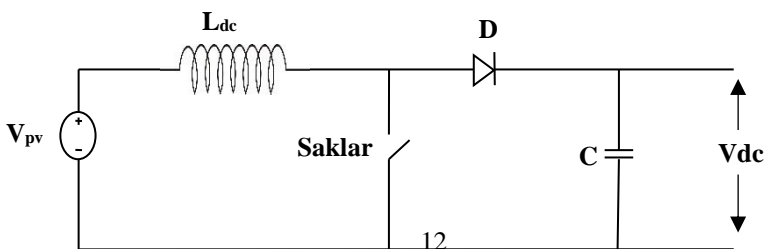
Modulation indeks (mi) adalah perbandingan antara sinyal carier dengan sinyal referensi. Nilai mi dipilih pada nilai 0,8 dan V_{grid} direferensikan pada 220 V. Apabila digunakan suatu transformer *step-up* maka persamaan 2.6 berubah menjadi persamaan 2.7 [10].

$$V_{dc} = \frac{V_{grid} * 1.414}{mi} * \alpha \quad 2.7$$

Dimana α merupakan perbandingan antara belitan primer (N_p) dengan belitan sekunder (N_s). N_p adalah belitan pada tegangan rendah, sedangkan N_s adalah belitan pada tegangan tinggi.



DC Bus Voltage Control merupakan suatu konverter DC to DC dengan *set point* tertentu. Rangkaian *boost converter* ditunjukkan oleh Gambar 2.11. *Boost converter* dari *Ripple SPWM*, yaitu *diode rectifier* (berfungsi mencegah arus balik dari *output*), *inductor* (berfungsi sebagai penyimpan muatan), dan saklar frekuensi tinggi (sebagai pengatur *charge* dan *discharge inductor*).



Gambar 2.11 Rangkaian boost Converter

Pada mode pengisian arus induktor (saklar menutup), induktor akan dihubung-singkat dengan sumber dan arus luaran dapat diabaikan sehingga terbentuk persamaan 2.8.

$$V_{pv} = L_{dc} * \frac{dI}{dt} \quad 2.8$$

Waktu mode pengisian arus induktor adalah selama saklar aktif (*close*) atau selama pulsa bernilai *HIGH* pada PWM (t_{on}) dan dI adalah arus minimum induktor – arus maximum induktor ΔI . Sehingga persamaan 2.8 dapat diubah menjadi persamaan 2.9.

$$L_{dc} * \Delta I = V_{pv} * t_{on} \quad 2.9$$

Pada mode pengosongan arus induktor (saklar terbuka), tegangan sumber akan seri dengan tegangan induktor dan beban. Kemudian induktor akan memulai pengosongan muatan sehingga beban akan suplai oleh dua sumber. Kondisi ini yang membuat tegangan luaran konverter *boost* (V_{dc}) lebih tinggi dari tegangan input (V_{pv}). Pada keadaan ini berlaku persamaan 2.10.

$$V_{pv} + L_{dc} \frac{\Delta I}{t_{off}} = V_{dc} \quad 2.10$$

Apabila persamaan 2.9 disubstitusikan dengan persamaan 2.10 maka akan menjadi:

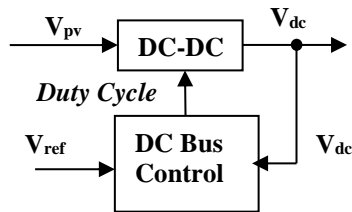
$$V_{dc} = V_{pv} + V_{pv} \frac{t_{on}}{t_{off}}$$

$$V_{dc} = V_{pv} * (1 + \frac{t_{on}}{t_{off}})$$

Apabila t_{on} adalah *Duty Cycle* (D) dikalikan periode (T) dan t_{off} adalah $(1-D)*T$, maka:

$$V_{dc} = V_{pv} * \frac{1}{1-D} \quad 2.11$$

Persamaan 2.11 hanya berlaku pada keadaan ideal, dimana tidak terdapat resistansi pada induktor dan controller sistem *boost* memiliki *amplitude* yang tetap. Sehingga untuk tetap dapat menjaga V_{dc} pada nilai yang dikehendaki maka dibuat sistem *loop* tertutup dengan *feedback* tegangan. Skema dari DC Bus Voltage Control ditunjukkan pada Gambar 2.12.

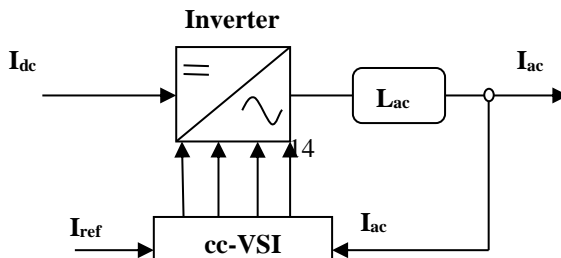


Gambar 2.12 Skema DC Buas Voltage Control

Dengan membaca tegangan luaran pada *Boost* dan mengurangi nilai tersebut dengan nilai *set point* maka akan didapat suatu nilai *error*. Nilai *error* tersebut akan dikontrol dengan *controller* PI dengan limit point 0 sampai 1. Kemudian sinyal kontrol tersebut dibandingkan dengan tegangan segitiga frekuensi tinggi untuk menghasilkan pulsa dengan lebar tertentu (*duty cycle*) yang digunakan untuk mengatur saklar sehingga tegangan luaran dari *boost converter* terjaga pada nilai *set point*.

2.4.2 Current Control VSI

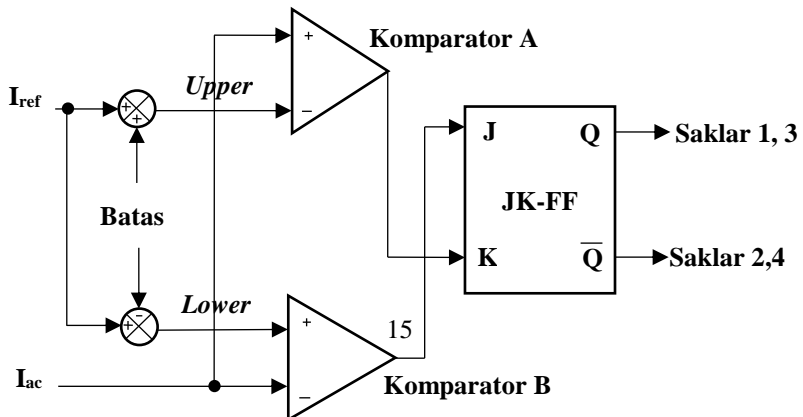
Dalam pengoperasian *voltage source inverter* dapat dilakukan dengan dua teknik yaitu *voltage controlled VSI* dan *current controlled VSI*. *Current Controlled VSI* adalah suatu teknik pengoperasian VSI dengan membuat arus keluaran inverter (I_{ac}) mengikuti arus referensi (I_{ref}) yang diberikan. Skema *current controlled VSI* ditunjukkan oleh Gambar 2.13.



I_{ref} adalah sinyal referensi yang menjadi acuan dari sistem cc-VSI. *Controller* pada sistem cc-VSI akan menghasilkan PWM untuk menggerakkan saklar pada inverter. Dan setelah dilewatkan sebuah filter, I_{ac} yang dihasilkan akan dibandingkan dengan nilai I_{ref} sehingga I_{ac} akan bergerak mengikuti I_{ref} .

Teknik pengaturan arus pada cc-VSI dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu *hysteresis current-control*, *linear control of VSI*, dan *linear control of VSI in rotating coordinates* [3]. Dari ketiga teknik tersebut yang paling mudah dalam mengaplikasikan adalah teknik *hysteresis current-control*.

Teknik *Hysteresis* adalah suatu teknik yang membuat I_{ac} bergerak diantara dua buah batas yang dibuat dengan menambahkan dan mengurangi I_{ref} dengan suatu nilai batas menjadi dua sinyal referensi yakni *upper* dan *lower*. Rangkaian dari *hysteresis current control* ditunjukkan oleh Gambar 2.14.



Upper adalah batas atas yang terbentuk dari penjumlahan nilai I_{ref} dengan nilai Batas, sedangkan *Lower* adalah batas bawah yang terbentuk dari nilai I_{ref} dikurangi dengan nilai Batas. Besarnya nilai Batas maksimum adalah sebesar 20% dari I_{ref} [11]. Dengan adanya Batas maka terdapat dua sinyal Referensi, yaitu *Upper* dan *Lower*.

Komparator A akan membandingkan I_{ac} dengan sinyal *Upper* untuk memberikan *logic LOW* (L) saat I_{ac} melewati batas atas. Kemudian Komparator B akan membandingkan I_{ac} dengan batas bawah untuk menghasilkan *logic HIGH* (H) saat I_{ac} berada dibawah batas bawah.

Sebagai penentu keputusan digunakan JK Flip-flop (JK-FF) sebagai logika penghasil *duty cycle* dengan frekuensi tertentu yang akan menggerakkan saklar. Tabel kebenaran dari JK-FF ditunjukkan oleh Tabel 2.1 [12]. Pada saat I_{ac} dibawah batas bawah maka J akan *HIGH* dan K akan *LOW*, sehingga Q akan *HIGH* dan saklar 1,3 *on* dan saklar 2,4 *off*.

Saat I_{ac} berada di atas batas atas maka J akan *LOW* dan K akan *HIGH* sehingga Q akan *LOW* dan saklar 1,3 *off* dan saklar 2,4 *on*. Sedangkan apabila I_{ac} berada diantara kedua batas, maka Q akan Memory (M). Memory adalah keadaan dimana *logic* sama dengan keadaan sebelumnya.

Tabel 2.1 Tabel Kebenran JK-FF

J	K	Q	Q not
H	H	Qnot	Q
L	H	L	H
H	L	H	L
L	L	M	M

Dengan menggunakan teknik *Hysterisis current control* maka I_{ac} akan tetap berada diantara *Upper* dan *Lower* atau dapat tetap mengikuti I_{ref} . Sehingga mengatur besarnya amplitude I_{ref} akan berpengaruh pada daya luaran dari inverter [13].

2.4.3 Design Filter

Ada beberapa macam filter yang dapat digunakan untuk VSI, yaitu filter L, filter LC, dan filter LCL. Penggunaan filter induktor harus sekecil mungkin agar I_{ac} cukup baik untuk dapat mengikuti I_{ref} yang diberikan. Persamaan I_{ref} diberikan pada persamaan 2.12.

$$I_{ref}(t) = A \sin (2 \pi f t) \quad 2.12$$

$$\Delta I_{ref} \max = A * 2 * \pi * f \quad 2.13$$

Untuk menentukan nilai induktor maksimum yang dapat digunakan sebagai filter L pada sistem, maka terlebih dahulu menentukan $\Delta I_{ref} \max$ menggunakan persamaan 2.13. $\Delta I_{ref} \max$ merupakan amplitude I_{ref} pada frekuensi tertinggi yang dijadikan referensi cc-VSI. A adalah *amplitude* maksimum I_{ref} dan f adalah frekuensi maksimum I_{ref} . Selanjutnya besarnya L_{ac} maksimum didapat dengan menggunakan persamaan 2.14.

$$L_{ac} (\max) = \frac{V_{dc} - V_m \text{ Grid}}{\Delta I_{ref}} \quad 2.14$$

L_{ac} adalah nilai induktansi yang berada setelah inverter dan sebelum titik *feedback*. Sehingga apabila menggunakan trafo maka induktansi trafo juga harus dihitung sebagai nilai L_{ac} . Perhitungan yang dilakukan menggunakan persamaan 2.14 harus dalam nilai tegangan yang sama. Sehingga seluruh perhitungan akan dibawa pada sisi tegangan rendah. $V_m \text{ Grid}$ adalah tegangan maksimum dari *grid*.

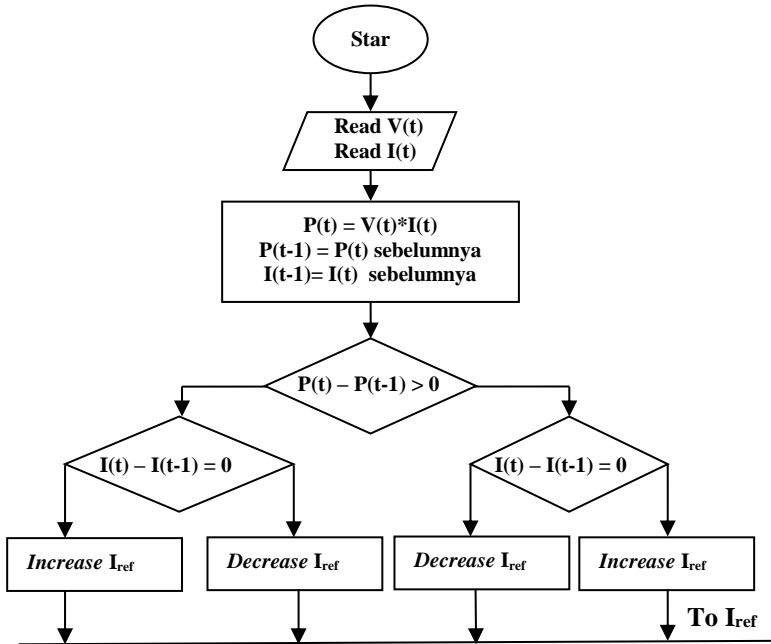
Setelah menentukan nilai L_{ac} maka selanjutnya adalah menentukan maksimum *overshoot* I_{ac} ($\Delta I_{ac} \text{ Over}$). Hal ini dilakukan menggunakan persamaan 2.15. f_{sw} adalah frekuensi kerja maksimum *Current Controller* dalam merespon perubahan [14].

$$\Delta I_{ac} \text{ Over} = \frac{V_{dc}}{L_{ac} * f_{sw}} \quad 2.15$$

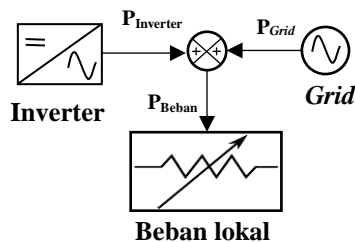
2.5 MPPT dan Load Follower

Berdasarkan kurva karakteristik PV pada Gambar 2.3, terdapat titik poin dimana daya PV bernilai maksimum. Untuk mencari titik optimum tersebut, digunakan suatu metode yang disebut MPPT. MPPT dapat diaplikasikan pada konverter DC-DC atau DC-AC [3]. MPPT

membutuhkan pembacaan dua sensor yang digunakan sebagai MPPT yaitu tegangan V_{pv} dan arus I_{pv} untuk menghasilkan amplitude I_{ref} yang tepat sehingga inverter dapat memaksimalkan daya luaran PV. *Flowchart* MPPT jenis *perturb & observe* ditunjukkan oleh Gambar 2.15. [15]



Gambar 2.15 *Flowchart* MPPT *perturb and observe* maksimal PV dapat dihasilkan. Memaksimalkan daya PV dapat dilakukan pada saat $P_{Inverter}$ (daya luaran inverter) kurang dari P_{Beban} (daya beban lokal) sehingga P_{Grid} (daya *Grid*) dapat diminimalkan. Konsep aliran ketiga daya tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Konsep Aliran daya

I_{ref} tidak dapat selalu digunakan untuk memaksimalkan daya luaran PV, dikarenakan apabila P_{Beban} lebih rendah dari $P_{Inverter}$, maka kelebihan daya yang di hasilkan inverter akan mengalir ke *grid*. Keadaan ini disebut keadaan *export*. Persamaan aliran daya ditunjukkan oleh persamaan 2.16.

$$P_{Grid} = P_{Beban} - P_{Inverter} \quad 2.16$$

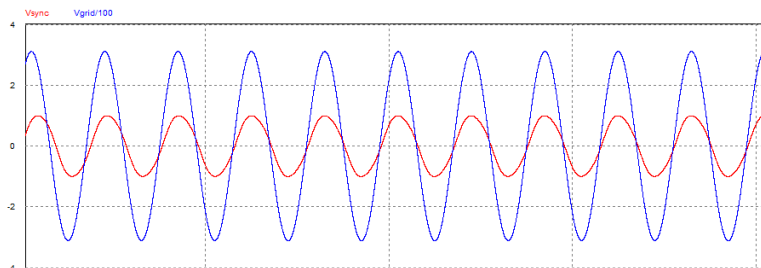
Untuk dapat menghindari keadaan *export*, maka I_{ref} harus dapat berubah dari *mode* MPPT menjadi *mode Load Follower*. *Mode Load follower* akan membuat $P_{Inverter}$ memiliki nilai yang relative sama dengan P_{Beban} dengan cara mengatur amplitude I_{ref} menyesuaikan dengan Beban Lokal.

Besarnya amplitude I_{ref} tergantung dari P_{Beban} saat itu. Dengan mereferensikan besarnya V_{Grid} selalu tetap yaitu 220 V (rms), maka persamaan untuk mencari amplitude I_{ref} dapat dicari dengan persamaan 2.17. Dengan amplitude I_{ref} yang dihasilkan maka P_{grid} akan bergerak disekitar nilai 0 Watt sehingga *Grid* hanya mensuplai daya reaktif.

$$I_{ref} = \frac{P_{Beban} * 1.414}{V_{Grid}} \quad 2.17$$

2.5.1 Phase Locked Loop

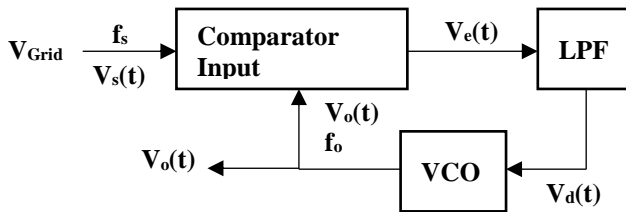
Phase Locked Loop (PLL) adalah suatu teknik yang dapat membangkitkan gelombang sefasa dengan *grid*. Teknik ini digunakan pada aplikasi *grid connected inverter* agar tegangan yang dibangkitkan



Gambar 2.17 Gelombang luaran PLL

memiliki frekuensi dan fasa yang sama dengan grid sehingga inverter dapat mensuplai daya. Gambar saat PLL mengejar dan mengunci frekuensi *grid* ditunjukkan oleh Gambar 2.17.

Walaupun pada kondisi awal terdapat perbedaan fasa, selang beberapa siklus berikutnya gelombang keluaran PLL akan sefasa dengan tegangan *grid*. Secara umum *block diagram* dari *phase locked loop* ditunjukkan oleh Gambar 2.18.



Gambar 2.18 PLL Block Diagram

PLL terdiri dari 3 bagian, yaitu komparator *phasa*, *low-pass filter* (LPF), dan *voltage-controlled oscillator* (VCO). Jika PLL tidak diberi sinyal input (V_{Grid}) maka *error voltage* ($V_e(t)$) luaran Comparator Input adalah nol dan tegangan luaran LPF ($V_d(t)$) adalah nol sehingga pada kondisi ini VCO akan beroperasi pada frekuensi yang diset. Ketika PLL diberi sinyal input maka Comparator Input akan membandingkan fasa dan frekuensi sinyal input dan sinyal luaran VCO ($V_o(t)$) kemudian menghasilkan suatu sinyal error ($V_e(t)$). Sinyal error akan difilter menggunakan LPF dan menghasilkan tegangan yang akan dibaca oleh VCO untuk merekduksi error dari perbedaan fasa dan frekuensi yang dihasilkan. PLL akan mengunci frekuensi grid bila error sudah nol dan pada kondisi ini tegangan luaran VCO sudah dianggap identic dengan sinyal Input [16].

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB III

DESAIN DAN IMPLEMENTASI LOAD FOLLOWER PADA SISTEM PV TERHUBUNG GRID

Pada BAB ini akan dibahas tentang 5 bagian penting dalam Tugas Akhir ini yaitu Model PV, Sistem Konverter *Boost*, Sistem VSI, Teknik *Load Follower*, dan Teknik MPPT. Pembahasan akan disertai alasan pemilihan nilai yang digunakan serta pertimbangan dalam memilih komponen.

3.1 Model PV

PV yang digunakan adalah Solartech Photovoltaic Modul Multicrystalline Silicon 100 Watt yang sudah memiliki Standard Test Conditions (STC) pada Intensitas cahaya 1000 W/m^2 dan Temperatur 25°C . Parameter atau datasheet PV ditunjukkan oleh Tabel 3.1 [17].

Tabel 3.1 Datasheet PV Solartech SPM-100P

Parameter	Besaran
Jumlah cell	36
Daya maksimum	100 Watt
Tegangan open circuit	22,8 Volt
Arus short circuit	5,76 Ampere
Tegangan saat daya maksimum	18,6 Volt
Arus saat daya maksimum	5,38 Ampere
Koefisien temperature dari tegangan Open Circuit-(0,38)%/ $^\circ\text{C}$
Koefisien temperature dari Arus short circuit-(0,065)%/ $^\circ\text{C}$
Koefisien temperature dari daya-(0,5 \pm 0,05)%/ $^\circ\text{C}$

3.2 Sistem Konverter Boost

Perancangan konverter *boost* dimulai dengan menentukan nilai input konverter *boost* (V_{pv}) dan nilai referensi (V_{dc}). Selanjutnya adalah menentukan *ripple* arus maksimal yang diizinkan. Agar konverter stabil maka *ripple* arus di jaga pada keadaan kecil yaitu pada kisaran 0.05 A.

3.2.1 Menentukan Nilai *Set Point*

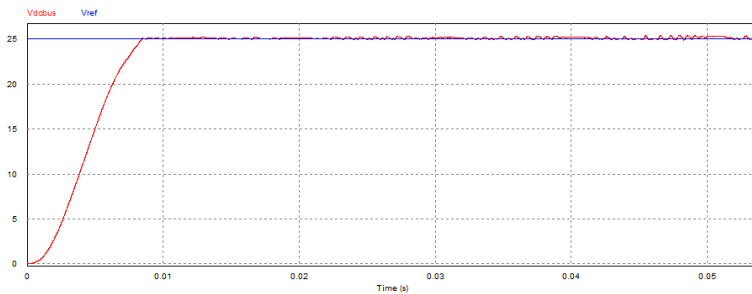
Berdasarkan Tabel 3.1, tegangan efektif PV adalah pada level 18,6 V. Nilai ini akan dijadikan sebagai tegangan input dari konverter *boost* (V_{pv}). Selanjutnya untuk mencari nilai *set point* agar tegangan dc (V_{dc}) tidak berada di bawah nilai minimal digunakan persamaan 2.6.

$$V_{dc} = \frac{220 \times 1,414}{0.8}$$
$$V_{dc} = 388,85 \text{ V}$$

Dengan tegangan yang begitu besar, akan terlalu sulit bagi konverter *boost* langsung menaikkan tegangan dari 18,6 V menjadi 388,85 V. Sehingga pada tugas akhir ini digunakan sebuah transformator *step-up* dengan rasio tegangan primer 12 V dan sekunder 240 V. maka persamaan yang digunakan adalah persamaan 2.7.

$$V_{dc} = 388,85 \text{ V} * \left(\frac{12}{240}\right)$$
$$V_{dc} = 19,44 \text{ V}$$

Sehingga tegangan minimal yang harus dibangkitkan adalah sebesar 19,44 V. Akan tetapi berdasarkan Gambar 2.13 setelah inverter akan dipasang filter L. Tidak adanya suatu induktor murni maka akan menyebabkan terjadinya drop tegangan pada komponen tersebut sehingga pemilihan V_{dc} harus ditingkatkan dari nilai minimumnya. Pada design konverter *boost* ini, nilai *set point* yang dipilih adalah sebesar 25 V. Respons dari *boost converter* berdasarkan simulasi yang dilakukan ditunjukkan oleh Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Respons Boost converter

3.2.2 Penentuan Nilai Induktor (L_{dc})

Berdasarkan persamaan 2.9, maka besarnya nilai inductor akan berpengaruh pada nilai *ripple* arus, dan lamanya t_{on} akan berpengaruh terhadap besarnya nilai induktansi yang dibutuhkan. Pada desain alat ini diinginkan *ripple* arus bernilai 0,05 A dan frekuensi switching yang digunakan adalah 10 kHz.

Tegangan normal operasi PV adalah 18.6 V, dan tegangan set point 25 V. Dengan persamaan 2.10 maka perkiraan *duty cycle* (D) yang dioperasikan adalah:

$$D = \frac{V_{dc} - V_{pv}}{V_{dc}}$$

$$D = \frac{25 - 18}{25}$$

$$D = 28 \%$$

Dengan frekuensi yang digunakan adalah 10 kHz, maka t_{on} adalah:

$$t_{on} = 0,28 * (1/10k) = 28 \text{ mikro detik} \quad 3.1$$

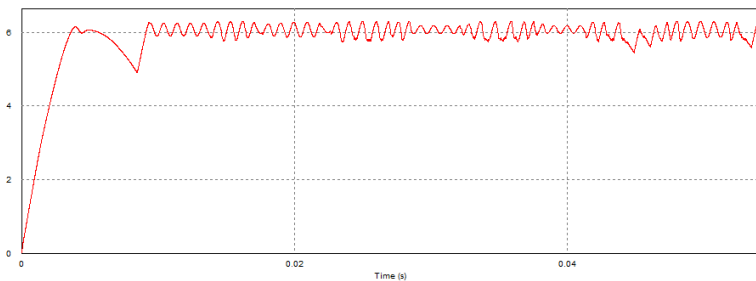
Berdasarkan persamaan 3.1 maka didapatkan nilai L_{dc} untuk *boost converter*.

$$L_{dc} = \frac{V_{pv} * t_{on}}{\Delta I}$$

$$L_{dc} = \frac{18,6 * 28 * 10^{-6}}{0,05}$$

$$L_{dc} = 10,416 \text{ mH}$$

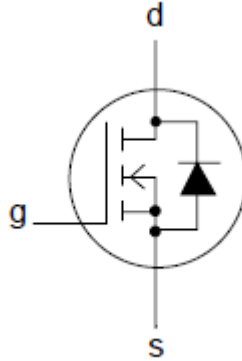
Nilai inductor minimal adalah 10,416 mH, namun dapat dipasang inductor dengan nilai yang lebih besar dari itu karena semakin besar inductor maka *ripple* arus yang dihasilkan akan semakin kecil. Arus ripple L_{dc} dengan nilai induktansi sebesar 10,416 mH ditunjukkan oleh Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Arus ripple L_{dc}

3.3 Sistem VSI

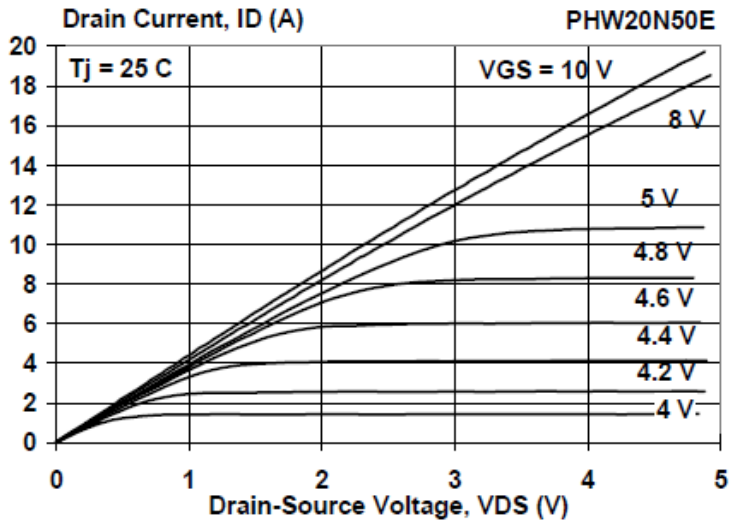
Pada Sistem VSI, saklar S1,S2,S3, dan S4 seperti pada Gambar 2.6 akan diimplementasikan berupa MOSFET dengan tipe IRP460. Mosfet ini dapat dilewati arus drain (d) – source (s) sampai 20 A dan tegangan gate (g) - source maksimal 500 V. Symbol Mosfet ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Simbol Mosfet

3.3.1 Teknik *Driving* Mosfet

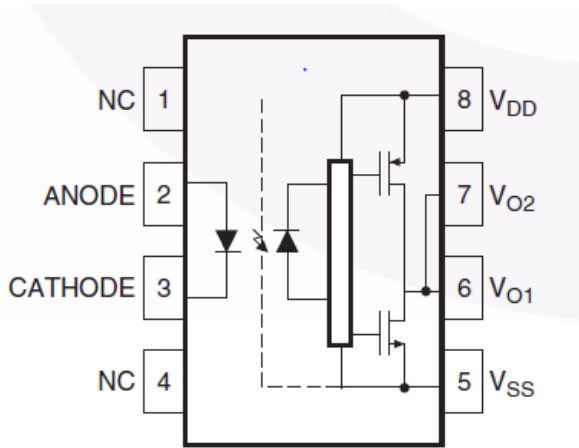
Mosfet merupakan saklar semi konduktor dengan karakteristik arus drain-saurce yang berbeda pada setiap level tegangan gate-source seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.4. Untuk memaksimalkan kerja mosfet maka mosfet harus di *trigger* dengan tegangan *gate-source* sebesar 10 V. Dengan tegangan luaran dari kompoen pembentuk pulsa yang hanya sebesar 5 V maka diperlukan suatu *driver* yang dapat mencatu mosfet dengan tegangan optimalnya.



Gambar 3.4 Typical Output Characteristics

Terdapat teknik dalam pembuatan *driver* mosfet agar tidak terjadi *short-circuit*. Apabila semua *driver* menggunakan *common ground* maka akan terjadi *short circuit* karena pada saat Saklar S1 aktif maka Saklar S2 juga akan aktif. Begitu juga saat Saklar S3 aktif maka Saklar S4 juga akan aktif. IC *driver* yang digunakan adalah FOD 3182.

Secara fungsional blok diagram dari FOD 3182 ditunjukkan oleh Gambar 3.5. Input dan output pada IC *driver* selalu pada kondisi *isolated* sehingga teknik ini bisa dijalankan. Tegangan input berasal dari komponen pembentuk pulsa dengan tegangan input 5 V. Selanjutnya Saklar S1 dan Saklar S3 akan diberi tegangan untuk *driver* ($V_{DD}-V_{SS}$) 12 V *isolated*. Dan Saklar S2 dan Saklar S4 diberi tegangan 12 V *common ground*.



Gambar 3.5 Fungsional Blok Diagram FOD3182

3.3.2 Menentukan nilai filter L_{ac}

Filetr L_{ac} akan digunakan untuk memfilter arus kotak luaran dari inverter sehingga terbentuk arus (I_{ac}) yang akan mengikuti arus referensi yang diberikan (I_{ref}). Untuk menghitung nilai L_{ac} maka akan dilakukan penyesuaian terhadap level tegangan. V_{Grid} akan bernilai 11 V karena perbandingan belitan yang digunakan adalah 1:20. Selanjutnya menentukan I_{ref} pada sisi tegangan rendah dengan menggunakan persamaan 2.12 dan menentukan ΔI_{ref} max menggunakan persamaan 2.13.

$$I_{ref}(t) = \left(\frac{100}{(V_{dc}/\sqrt{2})} * \sqrt{2} \right) \sin(2\pi 50 t)$$

$$\Delta I_{ref} \text{ max} = \left(\frac{100}{(V_{dc}/\sqrt{2})} * \sqrt{2} \right) * 2 * \pi * 50$$

Langkah berikutnya adalah menentukan besarnya L_{ac} maksimal menggunakan persamaan 2.14. V_{dc} adalah tegangan luaran *converter Boost* yang telah di dijaga pada tegangan 25 V. V_m Grid adalah *amplitude* tegangan *grid*. V_{Grid} direferensikan sebesar 220 V (rmns) pada sisi tegangan tegangan tinggi sehingga V_{Grid} pada sisi tegangan rendah adalah 11 V dan V_m Grid 15,56 V.

$$L_{ac} = \frac{V_{dc} - V_{m \text{ Grid}}}{\Delta I_{ref \text{ max}}}$$

$$L_{ac} = \frac{25 - 15,56}{2513,27}$$

$$L_{ac} = 3,756 \text{ mH}$$

Nilai L yang didapat adalah nilai induktansi total dari nilai induktansi trafo *Step-Up* dan induktor tambahan yang terpasang. Data pengukuran induktansi menggunakan LCR meter ditunjukkan oleh tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data pengukuran induktansi

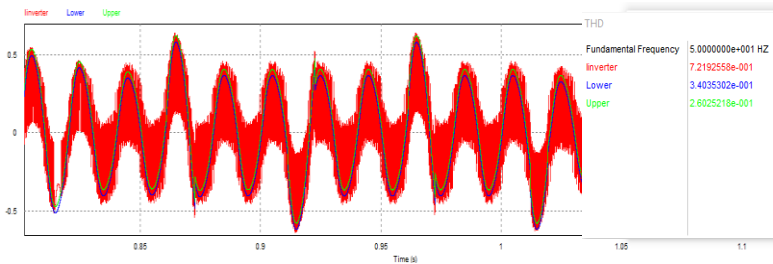
Frekuensi (Hz)	Induktansi (mH)	
	Sisi 12 V	Sisi 240 V
100	0,045	17,024

Induktansi total dilihat dari sisi 12 V adalah induktansi sisi 12 V + induktansi sisi 240 V yang dikalikan nilai perbandingan belitan trafo. Sehingga Induktansi total pada 100 Hz adalah:

$$L = 0,045 + (17,024 * \frac{12}{240})$$

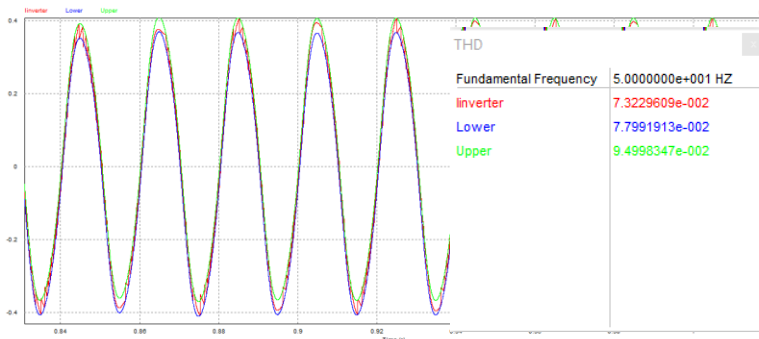
$$L = 0,8962 \text{ mH}$$

Gambar gelombang arus luaran inverter menggunakan induktansi 0,8962 mH ditunjukkan oleh Gambar 3.6 memiliki THD yang sangat besar yaitu 72,19 %.



Gambar 3.6 Arus luaran filter dengan Lac = 0,9862 mH

Dengan kondisi THD yang begitu besar maka diperlukan induktor tambahan yang dipasang sebelum trafo. Dengan nilai induktor tambahan sebesar 2,8 mH maka gambar arus luaran inverter ditunjukkan oleh Gambar 3.7 dengan THD sebesar 7,32 %.



Gambar 3.7 Arus luaran inverter dengan tambahan L sebesar 2,8 mH

Setelah menentukan nilai L_{ac} selanjutnya mendesain arus *overshoot* maksimal ($\Delta I_{ac} Over$) yang diizinkan. Dengan menggunakan persamaan 2.15 dengan frekuensi *switching* (f_{sw}) tertentu dapat menghasilkan arus *overshoot* tertentu. *Overshoot* akan di jaga di bawah 0,5 A pada sisi tegangan rendah atau 0,025 A pada sisi tegangan tinggi.

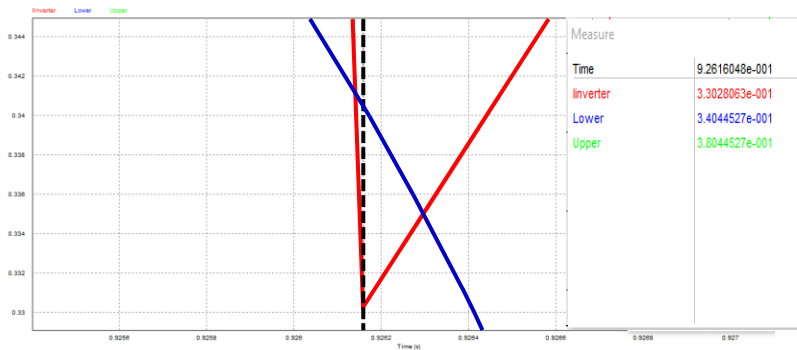
$$\Delta I_{ac} Over = \frac{V_{dc}}{L_{ac} * f_{sw}}$$

$$0,5 A = \frac{25}{3,6962 * f_{sw}}$$

$$f_{sw} = \frac{25}{3,6962 * 0,5}$$

$$f_{sw} = 13,53 \text{ kHz}$$

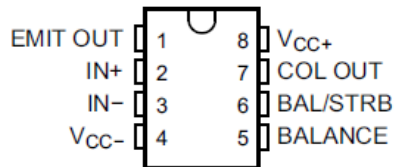
Untuk menjaga agar $\Delta I_{ac} Over$ berada pada rentan yang diizinkan maka kemampuan *controller* untuk menghasilkan f_{sw} minimal adalah 13,53 kHz. f_{sw} dipilih pada frekuensi 20 kHz agar $\Delta I_{ac} Over$ berada di bawah nilai yang diizinkan. Bentuk gelombang *overshoot* yang dihasilkan dengan f_{sw} 20 kHz ditunjukan oleh Gambar 3.8. I_{ac} berada pada nilai 0,33 A dan *Lower* berada pada 0,34 A sehingga $\Delta I_{ac} Over$ adalah sebesar 0,01 A. Nilai yang berada di bawah yang diizinkan yaitu sebesar 0,025 A.



Gambar 3.8 Overshoot pada fws 20 kHz

3.3.3 CC-VSI

Teknik *hysteresis current control* terdiri dari beberapa komponen seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14. Dalam implementasi alat komparator akan menggunakan IC LM311. Konfigurasi pin dari LM311 ditunjukkan oleh Gambar 3.9. Komparator ini dapat memberikan respon pada perbandingan tegangan sebesar +12 V dan -12 V dengan tegangan luaran 0 V pada *logic LOW* dan mendekati +12 V pada *logic HIGH* dengan tegangan catu V_{CC+} sebesar +12 V dan V_{CC-} sebesar -12 V.

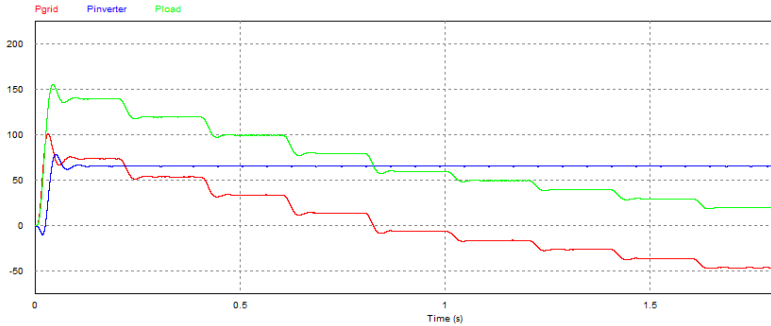


Gambar 3.9 Konfigurasi LM311

Selanjutnya JK-FF akan digantikan dengan Microcontroller Arduino Mega sebagai penentu logic luaran sekaligus sebagai komponen pembentuk pulsa rangkaian *Hysteresis*. Dengan *voltage divider* pada luaran Komparator A dan komparator B maka tegangan input akan sesuai untuk pembacaan *microcontroller*. Dengan bantuan rangkaian pembalik pulsa maka dengan satu luaran *microcontroller* menghasilkan dua luaran dengan keadaan yang selalu berlawanan. Pengaturan frekuensi akan digunakan fungsi `delayMicroseconds()`.

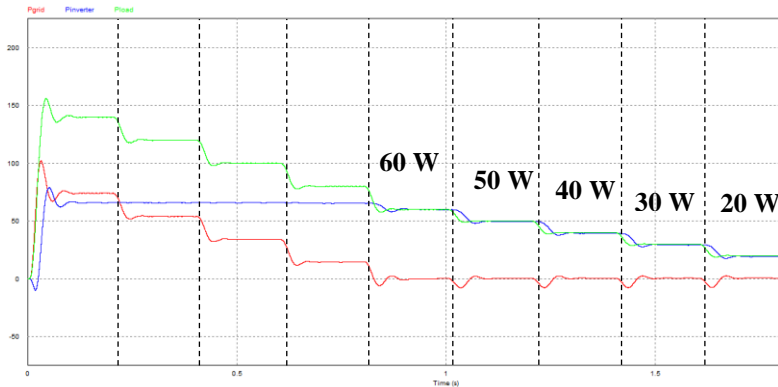
3.4 Teknik Load Follower

Teknik *load follower* digunakan pada saat PV mampu menghasilkan daya yang lebih besar dari daya beban lokal. Karena apabila I_{ref} selalu dalam MPPT maka inverter akan mensuplai daya ke *grid* seperti pada hasil simulasi yang ditunjukkan oleh Gambar 3.10.



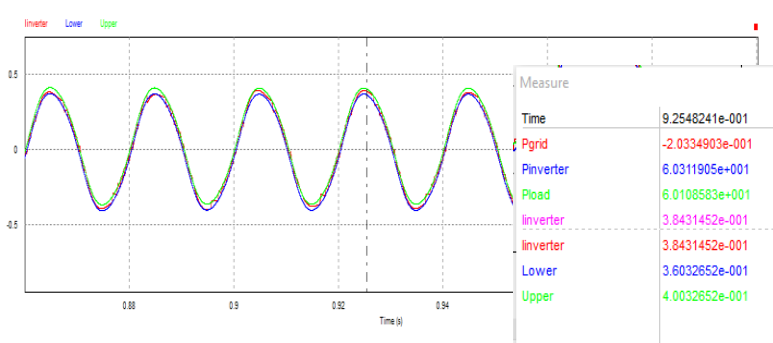
Gambar 3.10 Hanya MPPT mode

Oleh karena itu I_{ref} harus berubah ke dalam mode *load follower* pada saat $P_{inverter}$ melebihi P_{grid} . Untuk menentukan besarnya I_{ref} digunakan persamaan 2.13 sehingga inverter tidak mensuplai daya ke *Grid* seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.11.



Gambar 3.11 MPPT mode dan Load Follower Mode

Pada Gambar 3.10 P Inverter pada mode MPPT memiliki daya lebih dari 60 W. Namun ketika beban turun dari 60 W, 50 W, 40 W, 30 W, dan 20 W P_{Grid} (warna merah) tidak secara *continuous* berada pada nilai negative (keadaan *export*). Bentuk gelombang I_{ac} pada beban 60 W ditunjukkan oleh Gambar 3.12.



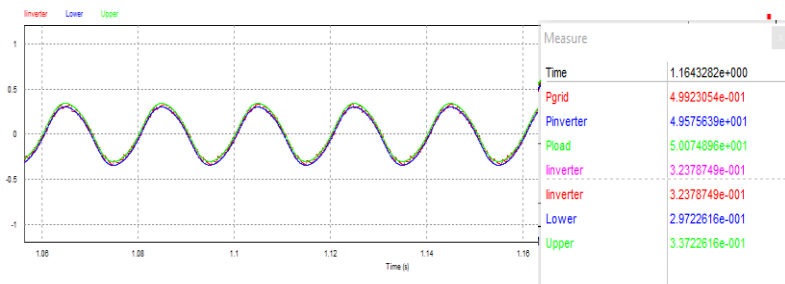
Gambar 3.12 Simulasi Beban 60 W

Pada Gambar 3.12, pada beban 60 W *amplitude* I_{ac} adalah 0,3843 A. Apabila dihitung menggunakan persamaan 2.13 maka:

$$I_{ref} = \frac{60 \times 1.414}{220}$$

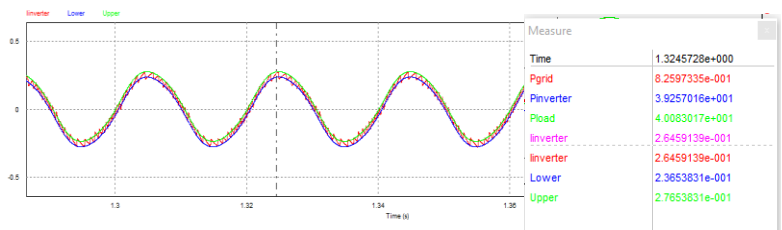
$$I_{ref} = 0,3856 \text{ A}$$

Perhitungan dan hasil simulasi memiliki nilai yang sangat mendekati. Kemudian pada beban 50 W I_{ac} memiliki *amplitude* 0,3237 A seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.13. Bila dihitung menggunakan persamaan 2.13 maka $I_{ref} = 0,3214 \text{ A}$.

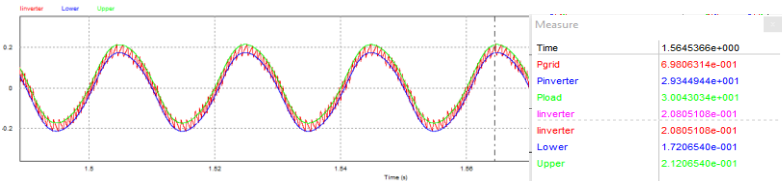


Gambar 3.13 Simulasi Beban 50 W

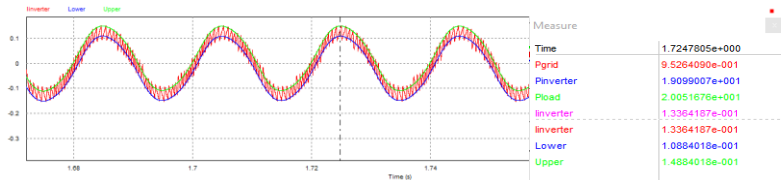
Selanjutnya pada beban 40 W I_{ac} memiliki *amplitude* 0,2646 A seperti ditunjukkan pada Gambar 3.14 dan apabila dihitung *amplitude* I_{ref} adalah 0,2571 A. Pada beban 30 W I_{ac} memiliki *amplitude* 0,2080 A seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.15, dan apabila dihitung didapatkan *amplitude* I_{ref} sebesar 0,1928 A. Kemudian pada beban 20 W *amplitude* I_{ac} adalah 0,1336 A seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.16, dan apabila dihitung dengan persamaan 2.13 maka *amplitude* I_{ref} adalah 0,1285 A.



Gambar 3.14 Simulasi Beban 40 W



Gambar 3.15 Simulasi Beban 30 W



Gambar 3.16 Simulasi Beban 20W

Berdasarkan hasil simulasi, terdapat beberapa perbedaan seperti ditunjukkan oleh Tabel 3.3. Perbedaan yang terjadi dikarenakan pada Teknik *Hysteresis* yang digunakan terdapat batas atas (*Upper*) sebesar 0,025 dan batas bawah (*Lower*) sebesar 0,025.

Tabel 3.3 Amplitude I_{ac} Hasil Simulasi dan Perhitungan

Beban (Watt)	Amplitude (A)		Perbedaan
	I_{ac} (Simulasi)	I_{ref} (perhitungan)	
60	0,3843	0,3856	0,0013
50	0,3237	0,3214	0,0023
40	0,2646	0,2571	0,0075
30	0,2080	0,1928	0,0152
20	0,1336	0,1285	0,0051

3.5 Teknik MPPT

Teknik MPPT *perturb & observe* dapat dilakukan dengan melakukan *trial and error* dengan mengubah *amplitude* dari I_{ref} dari nilai awal sampai mendapatkan daya maksimum dari PV. Untuk mendapatkan daya maksimum PV maka nilai referensi acuan MPPT di set pada setengah nilai optimum berdasarkan datasheet PV.

Desain PV yang dipilih adalah PV dengan daya maksimum 100 W, bila diasumsikan tidak terjadi rugi-rugi maka *amplitude* I_{ref} maksimum adalah:

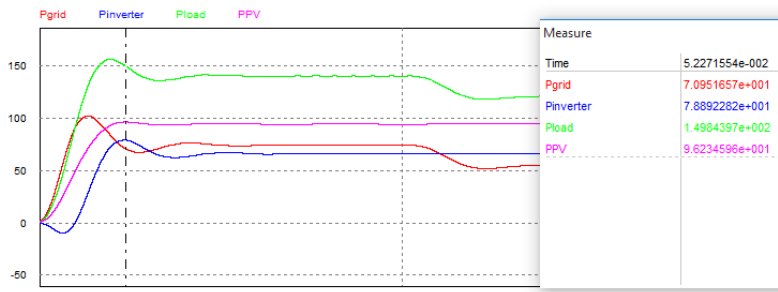
$$I_{ref} = \frac{P}{V}$$

$$I_{ref} = \frac{100}{220}$$

$$I_{ref} = 0,4545 \text{ A}$$

$$I_{ref \text{ max}} = 0,6428 \text{ A}$$

Sehingga limiter diset pada batas bawah 0 dan batas atas 0,6. Pemilihan step size dipilih pada nilai terkecil yang dapat dilakukan dengan waktu yang optimal. Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.10, MPP mode dengan daya max PV 100 W, terukur mensuplai sebesar 66 W pada pengukuran P inverter. Hal ini dikarenakan rugi-rugi pada resistansi induktor yang digunakan, karena apabila diukur pada daya luaran PV tercatat nilai yang mendekati 100 W yaitu pada nilai 96,23 W seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.17.

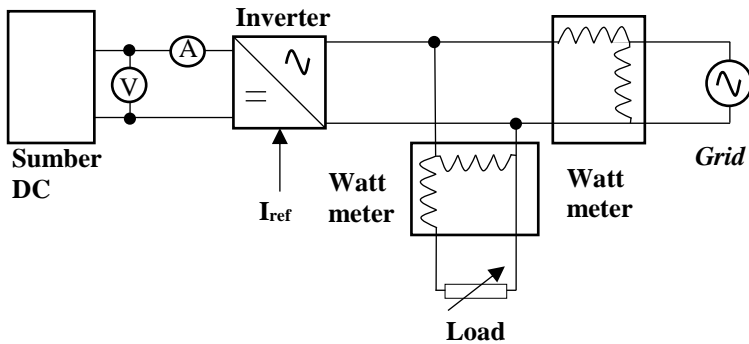


Gambar 3.17 Daya Maksimum PV

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini akan dibahas pengambilan data beserta gambar skematis dari pengujian dan analisa data. Gambar skematis ditunjukkan oleh Gambar 4.1. Watt meter terpasang untuk mengukur daya dari *grid* dan daya dari beban lokal. Daya dari PV didapat dari perkalian dari hasil pembacaan arus dan tegangan DC.



Gambar 4.1 Skematis pengujian alat

Pengujian dilakukan dengan merubah nilai beban dengan beban maksimum sebesar 140 Watt dan beban minimum sebesar 20 watt seperti ditunjukan tabel 4.1. Besarnya daya Sumber DC adalah perkalian dari arus dan tegangan DC.

Tabel 4.1 Tabel Pengujian

Sumber DC (watt)	Pload (watt)	Pgrid (watt)
100.2	140	77.5
94.8	120	58.8
98.2	100	37.3
100.0	80	15.8
94.3	60	1.4
87.1	50	0.3
79.2	40	0.3
64.8	30	0.4
52.6	20	0.0

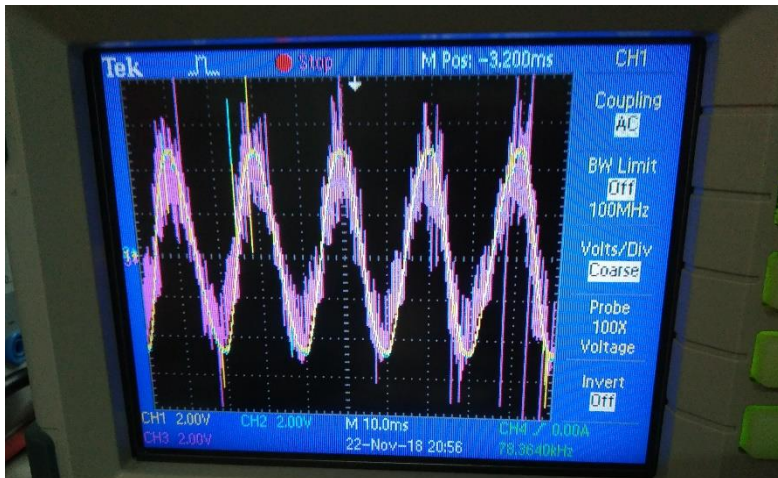
Dari Tabel 4.1, maka didapat P_{Inverter} menggunakan persamaan 2.16. Dari data P_{Inverter} dan daya Sumber DC maka bisa didapat nilai efisiensi dari *controller* pada setiap perubahan beban seperti ditunjukkan Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Efisiensi Controller

P_{Inverter} (watt)	Effisiensi
62.5	62,5%
61.2	64,6%
62.7	63,85%
64.2	64,2%
58.6	62,14%
49.7	57,06%
39.7	50,13%
29.6	45,06%
20	38,02%

4.1 Mode MPPT (*Maksimum Power Point Tracking*)

Pada saat P_{load} melebihi kemampuan sumber DC yang hanya 100 Watt maka I_{ref} akan dipertahankan agar power yang dikeluarkan sumber DC tetap maksimum. Untuk mendapatkan daya yang maksimum maka I_{ref} akan dinaikan sampai sumber DC mensuplai daya sebesar 100 Watt seperti pada Gambar 4.2.



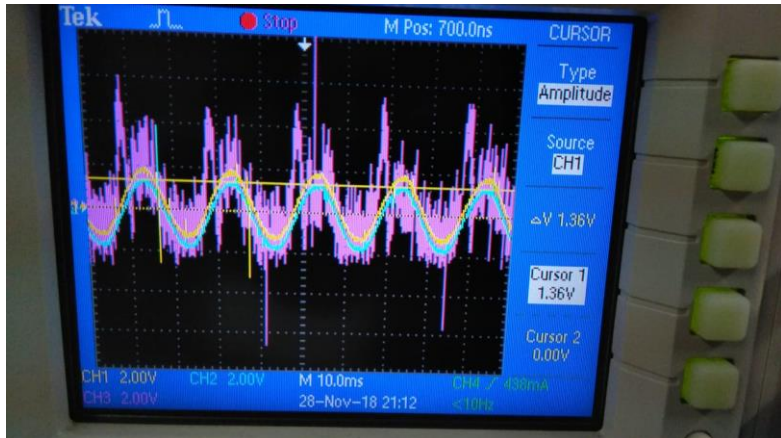
Gambar 4.2 I_{ref} MPP mode

4.2 Mode Load Follower

Berdasarkan Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, inverter mempunyai daya maksimal sebesar 64,2 watt. Sehingga pada keadaan beban 60 Watt sampai 20 Watt nilai I_{ref} dirubah agar inverter tidak mensuplai daya ke *grid*. Besarnya I_{ref} berubah berdasarkan besarnya beban.

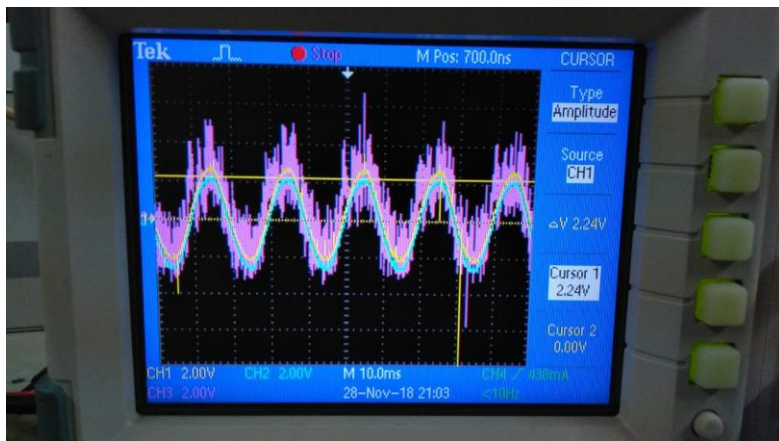
4.2.1 Beban 20 W

Berdasarkan Pengujian dengan beban 20 W diperoleh hasil gelombang arus seperti pada Gambar 4.3. I_{ac} yang tercatat dari Gambar 4.3 yang membuat inverter tidak *export* daya ke *grid* adalah 0.136 A, diperoleh dari $I_{ac} (\text{amplitude}) * \frac{1}{10}$, dikarenakan gambar yang tertampil pada *osiloscope* sudah melalui *gain* 10x.



Gambar 4.3 Pengujian beban 20 watt

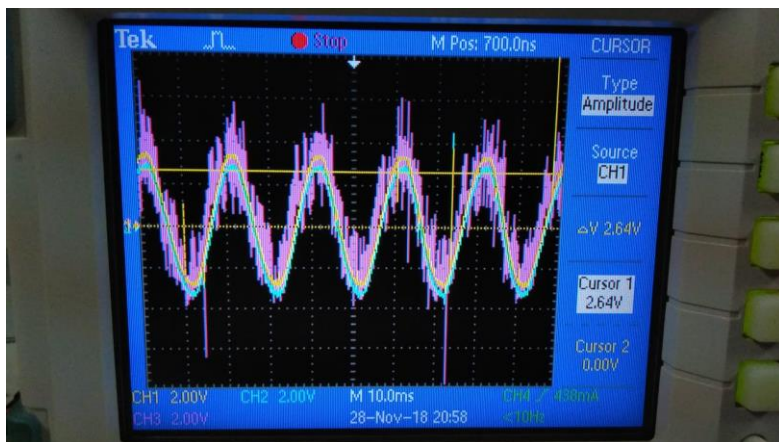
4.2.2 Beban 30 W



Gambar 4.4 Pengujian beban 30 watt

Berdasarkan Pengujian dengan beban 30 W diperoleh hasil gelombang arus seperti pada Gambar 4.4. I_{ac} yang tercatat agar inverter tidak *export* daya ke *grid* adalah 0.224 A.

4.2.3 Beban 40 W

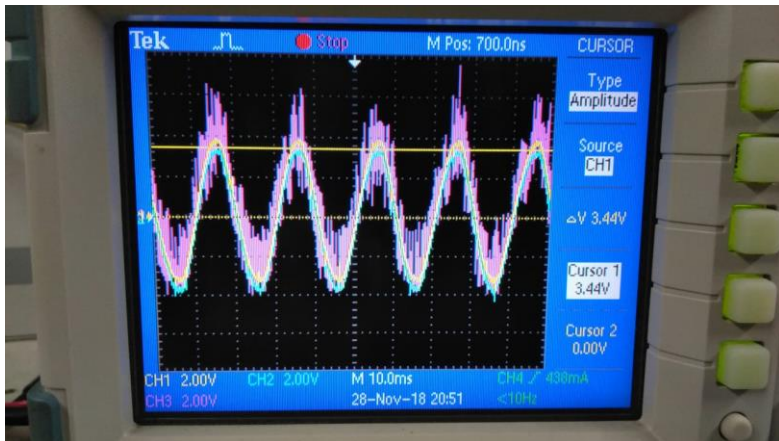


Gambar 4.5 Pengujian beban 40 watt

Berdasarkan Pengujian dengan beban 30 W diperoleh hasil gelombang arus seperti pada Gambar 4.5. I_{ac} yang tercatat agar inverter tidak *export* daya ke *grid* adalah 0.264 A.

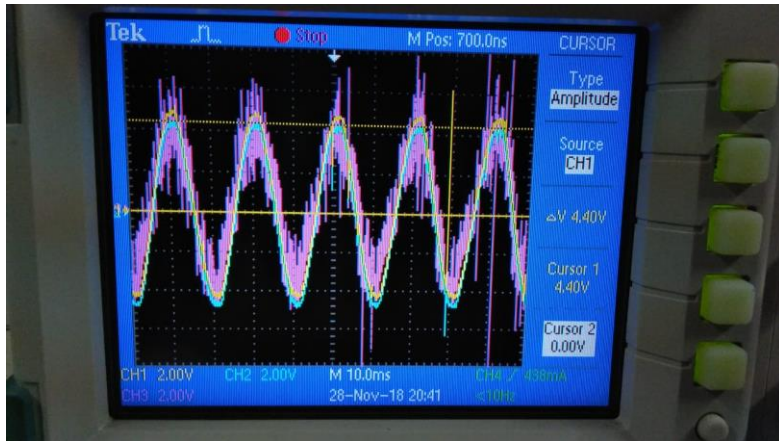
4.2.4 Beban 50 W

Berdasarkan Pengujian dengan beban 30 W diperoleh hasil gelombang arus seperti pada Gambar 4.6. I_{ac} yang tercatat agar inverter tidak *export* daya ke *grid* adalah 0.344 A.



Gambar 4.6 Pengujian beban 50 watt

4.2.5 Beban 60 W

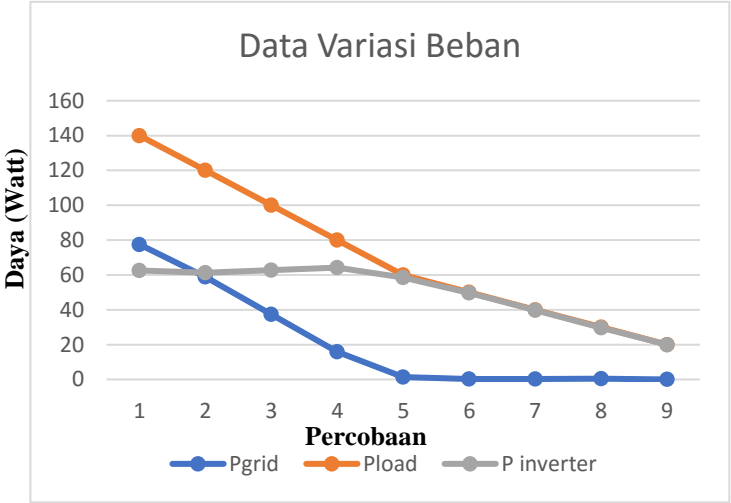


Gambar 4.7 Pengujian beban 60 watt

Berdasarkan Pengujian dengan beban 30 W diperoleh hasil gelombang arus seperti pada Gambar 4.7. I_{ac} yang tercatat agar inverter tidak *export* daya ke *grid* adalah 0.44 A.

4.3 Grafik dan Tabel Pengujian

Berdasarkan Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, dapat dibuat grafik Pengujian seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Data Variasi Beban

Pada beban 140 Watt sampai 80 Watt adalah mode MPPT, dan pada 60 Watt sampai 20 Watt adalah mode *Load Follower*. Perbandingan I_{ac} pengukuran dan I_{ref} perhitungan ditunjukkan oleh Tabel 4.3.

Tabel 4.3 I_{ac} Pengukuran dan Perhitungan

Beban (Watt)	Amplitude (A)		Perbedaan
	I_{ac} (Pengukuran)	I_{ref} (Hitungan)	
60	0.440	0,3856	0,0544
50	0.344	0,3214	0,0226
40	0.264	0,2571	0,0069
30	0.224	0,1928	0,0312
20	0.136	0,1285	0,0075

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian dan hasil analisa dari penelitian yang telah dilakukan dalam Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan bahwa, pada Tugas Akhir ini dihasilkan suatu inverter yang dapat terkoneksi dengan *grid* yang dapat diatur daya yang disuplainya menggunakan *controller*. Terdapat dua pola operasi dari *controller* yang digunakan, yaitu *MPPT Mode* dan *Load Follower Mode*. *MPPT Mode* beroperasi memaksimalkan daya inverter pada saat beban lokal melebihi kemampuan sumber DC yaitu pada beban 140 W, 120 W, 100 W dan 80 W. *Load Follower Mode* beroperasi saat beban dibawah kemampuan dari sumber DC yaitu pada beban 60 W, 50 W, 40 W, 30 W, dan 20 W. Dengan mengatur amplitude I_{ref} yang digunakan maka tidak terjadi *export* daya ke *grid*. Terdapat rugi-rugi pada *controller* sehingga dengan kapasitas sumber DC 100 W, maksimal daya yang disuplai inverter sebesar 64,2 W.

5.2 SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya mencari metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi inverter.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR PUSTAKA

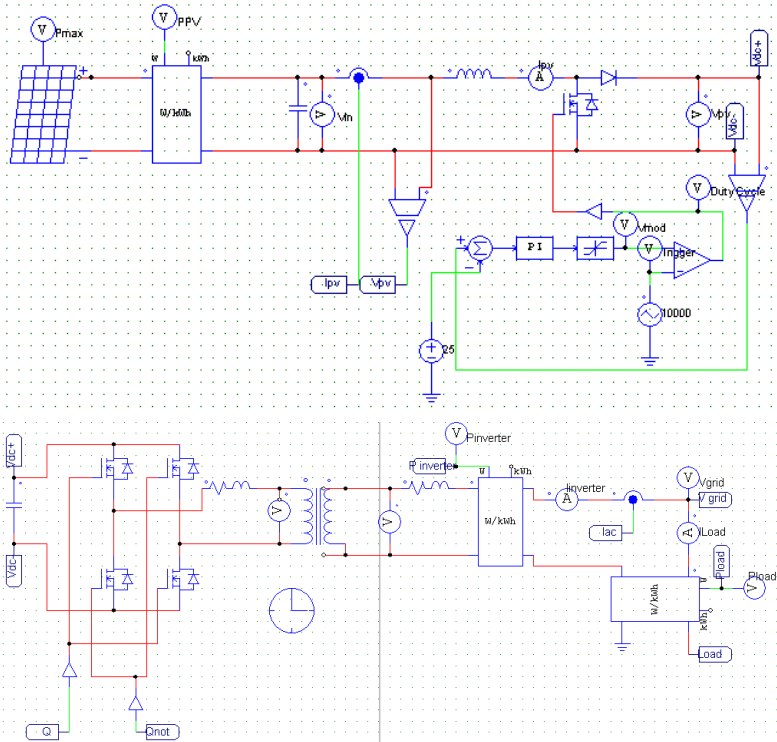
- [1] Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi (EBTKE). (2015, 11 Maret). PLTS Rooftop Untuk Gedung Perkantoran. Diperoleh Mei 2018.
<http://ebtke.esdm.go.id/post/2015/03/11/800/plts.rooftop.untuk.gedung.perkantoran>
- [2] Apriliyanto, Wahyu. “Pembangkit Listrik Photovoltaic, Generator Sinkron, dan Generator Induksi menggunakan PSIM”. Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada. 2016.
- [3] Rashid, M.H, “Power Electronics Handbook”, Academic Press, 2001.
- [4] Peraturan Menteri ESDM No 39 Th 2017 Tentang Pelaksanaan Kegiatan Fisik Pemanfaatan Energi Baru dann Energi Terbarukan Serta Konservasi Energi, Jakarta: Kementrian ESDM.
- [5] Afriyadi, Achmad Dwi, 2018, “Mau Pasang ‘Listrik Atap’, Berapa Harganya?”, : detikFinance.
- [6] Haikal, Muhammad Agil. “Desain Sistem Photovoltaic Inverter Terkoneksi Ke Grid Dan Implementas Konverter Boost Menggunakan Mppt Berbasis Metode Modified Regula Falsi”. Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2015.
- [7] Ashari, Mochamad. “desain konverter lektronika daya”. Informatika, 2017.
- [8] Mr. R. Senthil kumar, M.Singaravelu. “Design Of Single Phase Inverter”, dsPIC30F4013 International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2(11), 2010, 6500-6506
- [9] Ahmed Abdalrahman, Abdalhalim Zekry, Ahmed Alshazly. “Simulation and Implementation of Grid-connected Inverters”. Cairo, Egypt: International Journal of Computer Application. 2012.
- [10] Kim, J, dkk. 2000. Output LC filter Design of Voltage Source Inverter Considering the Performance of Controller. Chungbuk National University. South Korea:IEEE.
- [11] Wang, T.C., Zhihong, Y., Sinha, G., and Yuan, X, 2003. Output Filter Design for a Grid-interconnected Three Phase Inverter, Power Electronics Specialist Conference 2:779-784..
- [12] “Dual JK-Flip Flop With Set and Clear”. ON Semiconductor. Dataasheet:SN74LS76A.
- [13] Salman, Mochammad. “Perancangan Inverter Satu Fasa Yang Terhubung Dengan Jaring Distribusi Menggunakan Metode

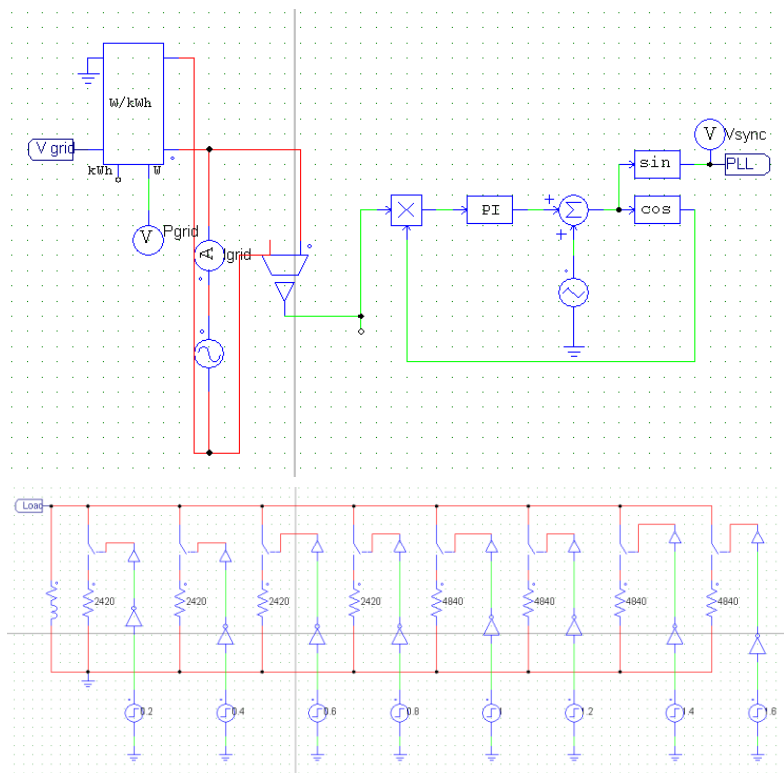
- Hysteresis Current Control”, Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2011.
- [14] Ingram, David M.E., Round Simond D., “Fully Digital Hysteresis Current Controller for an Active Power Filter”. Departement of Electrical & Electronic Engineering. University of Canterbury. New Zealand.
 - [15] Thalib, Humaid. “Simulasi Panel Surya Terintegrasi Grid Menggunakan Kerangka Referensi Sinkron”. Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. 2016.
 - [16] Morgan, K. David. “CD4046B Phase-Locked Loop: A Versatile Building Block for Micropower Digital and Analog Applications”. Texas Instruments: Datasheet SCHA002A. 2003.
 - [17] “F-Series 100W PV Module SPM100P-TS-F”. Solartech:datasheet

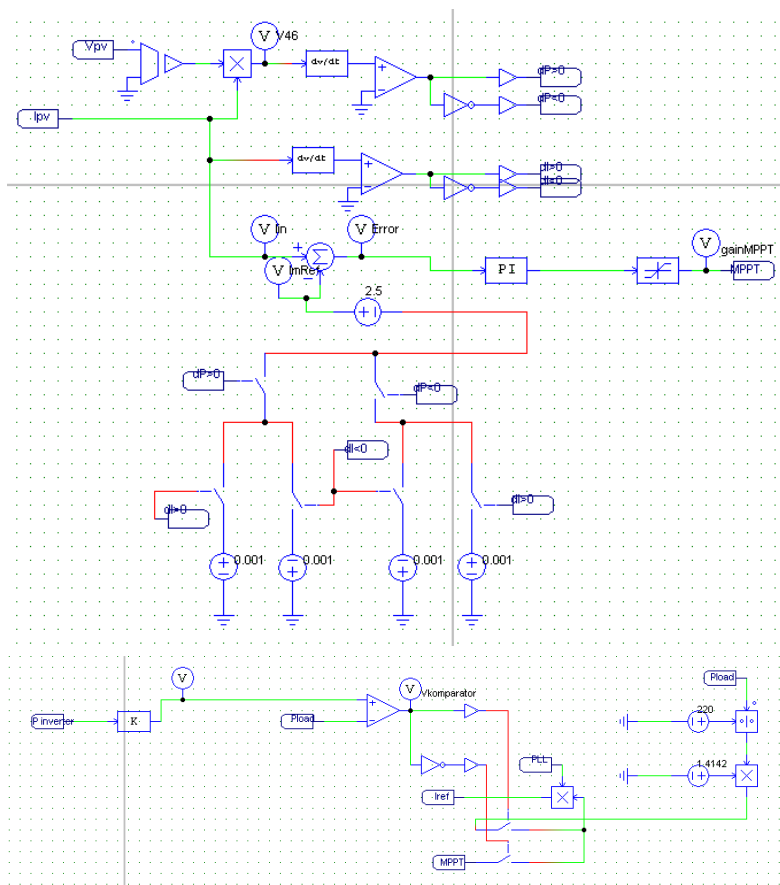
LAMPIRAN

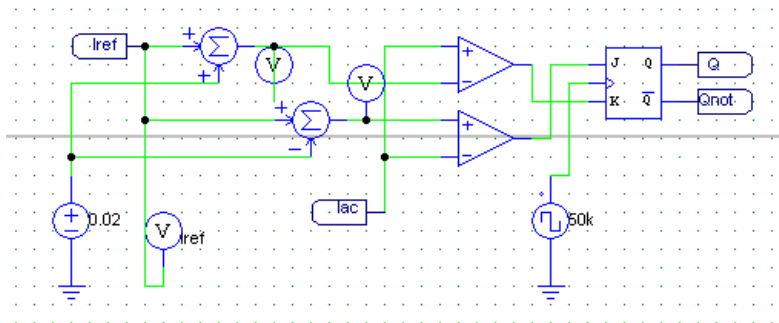
Berikut adalah lampiran program keseluruhan dari penelitian yang telah dilakukan.

1. Screenshot Simulasi secara penuh

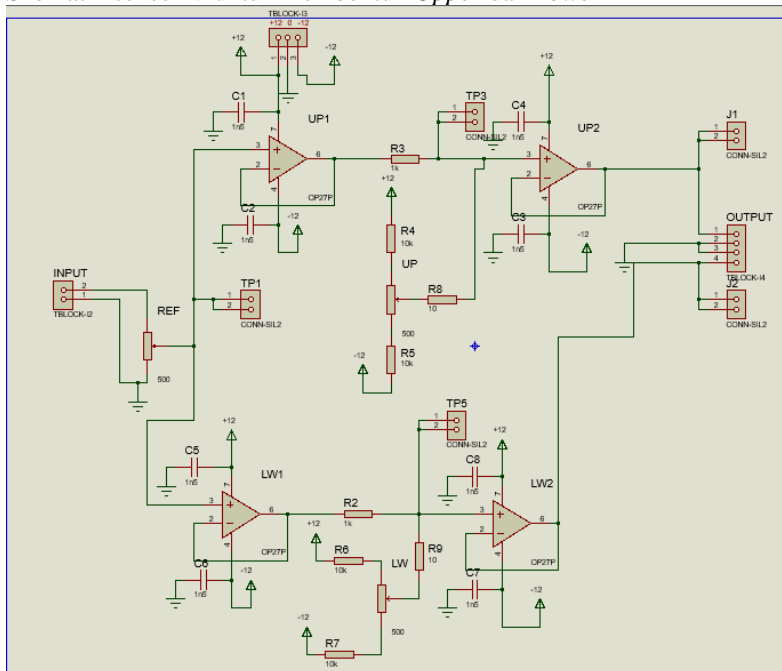


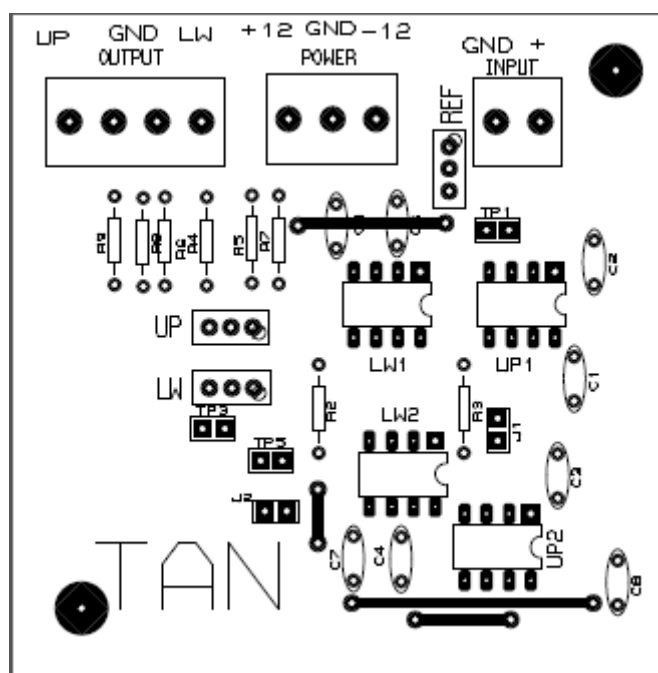




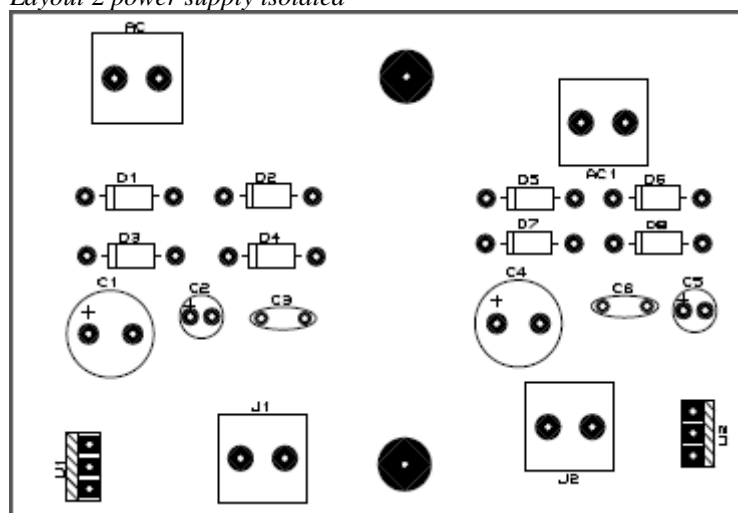


2. Skematik sensor V untuk membentuk *Upper* dan *Lower*



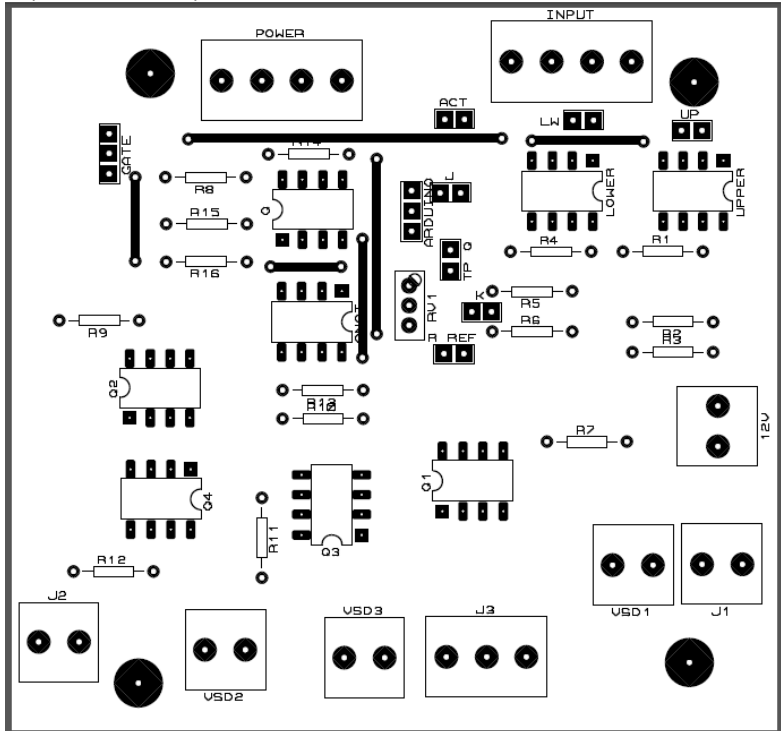


3. *Layout 2 power supply isolated*



2 *Power supply isolated* digunakan untuk mensupply *driver MOSFET 1* dan *Driver MOSFET 4*

4. *Layout Control Hysteresis dan driver MOSFET*



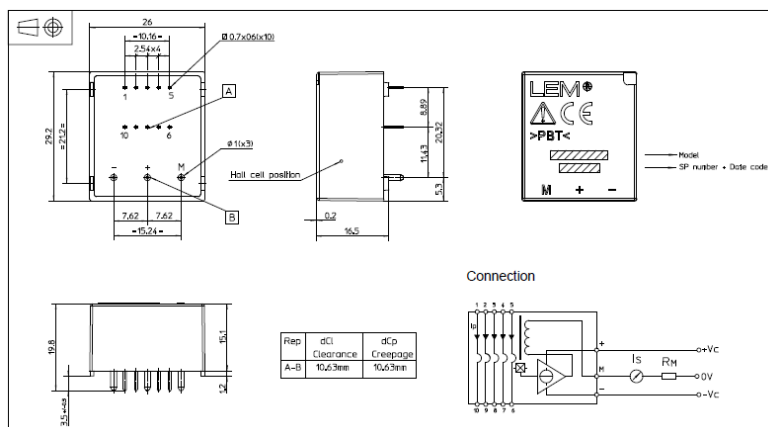
- VSD1 disupply dengan power supply isolated 12 V
- VSD2 disupply dengan power supply isolated 12 V
- VSD3 disupply dengan power common ground 12 V
- J2 terhubung dengan Q4
- J1 terhubung dengan Q1

[illegible]

Q4 terhubung dengan J2
Q2,Q3 terhubung dengan driver untuk MOSFET 2 dan 3 (*common ground*)
Q1 terhubung dengan J1

6. Sensor Arus Current Transducer LA 25-NP

Electrical data				
I_{PN}	Primary nominal current rms	25		At
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 36		At
R_M	Measuring resistance @	$T_A = 70^\circ\text{C}$ $T_A = 85^\circ\text{C}$ $R_{M \min}$ $R_{M \max}$ $R_{M \min}$ $R_{M \max}$		
	with $\pm 15\text{ V}$	@ $\pm 25\text{ At}_{\max}$	100 320	100 315 Ω
		@ $\pm 36\text{ At}_{\max}$	100 190	100 185 Ω
I_{SN}	Secondary nominal current rms	25		mA
K_N	Conversion ratio	1-2-3-4-5 : 1000		
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	± 15		V
I_C	Current consumption	$10 + I_s$		mA
Accuracy - Dynamic performance data				
X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.5		%
ε_L	Linearity error	< 0.2		%
I_O	Offset current ¹⁾ @ $I_p = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ ± 0.05	Max ± 0.15	mA
I_{OM}	Magnetic offset current ²⁾ @ $I_p = 0$ and specified R_M , after an overload of $3 \times I_{PN}$	± 0.05	± 0.15	mA
I_{OT}	Temperature variation of I_O	0°C .. +25°C	± 0.06	± 0.25 mA
		+25°C .. +70°C	± 0.10	± 0.35 mA
		-25°C .. +85°C		± 0.5 mA
		-40°C .. +85°C		± 1.2 mA
t_r	Response time ³⁾ to 90 % of I_{PN} step	< 1		μs
di/dt	di/dt accurately followed	> 50		A/ μs
BW	Frequency bandwidth (-1 dB)	DC .. 150		kHz
General data				
T_A	Ambient operating temperature	-40 .. +85		°C
T_S	Ambient storage temperature	-45 .. +90		°C
R_p	Primary coil resistance per turn @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	< 1.25		m Ω
R_s	Secondary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110		Ω
	@ $T_A = 85^\circ\text{C}$	115		Ω
R_{is}	Isolation resistance @ 500 V, $T_A = 25^\circ\text{C}$	> 1500		M Ω
m	Mass	22		g
	Standards	EN 50178: 1997		



Number of primary turns	Primary current		Nominal output current I_{ON} [mA]	Turns ratio K_N	Primary resistance R_p [mΩ]	Primary insertion inductance L_p [μH]	Recommended connections
	nominal I_{PN} [A]	maximum I_p [A]					
1	25	36	25	1 / 1000	0.3	0.023	IN: 5 4 3 2 1 OUT: 6 7 8 9 10
2	12	18	24	2 / 1000	1.1	0.09	IN: 5 4 3 2 1 OUT: 6 7 8 9 10
3	8	12	24	3 / 1000	2.5	0.21	IN: 5 4 3 2 1 OUT: 6 7 8 9 10
4	6	9	24	4 / 1000	4.4	0.37	IN: 5 4 3 2 1 OUT: 6 7 8 9 10
5	5	7	25	5 / 1000	6.3	0.58	IN: 5 4 3 2 1 OUT: 6 7 8 9 10

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BIODATA PENULIS



Tegar Aji Nugroho lahir di Banyumas, Jawa Tengah pada tanggal 18 November 1993. Penulis adalah anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri Baging 04 kemudian melanjutkan ke jenjang pendidikan menengah di SMP Negeri 1 Kroya dan dilanjutkan kembali ke jenjang pendidikan atas di SMA Negeri 1 Kroya. Pada jenjang perguruan tinggi penulis memulai pendidikan pada jenjang pendidikan Diploma di D3 Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik

Negeri Semarang pada tahun 2012. Kemudian penulis menyelesaikan masa pendidikan diploma pada tahun 2015. Penulis kemudian melanjutkan kembali jenjang pendidikan sarjana di S1 Teknik Elektro ITS pada tahun 2016. Semasa kuliah pada jenjang diploma maupun sarjana penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. KAI dan juga PT. Sumber Segara Primadaya.

Email : tegarajinugroho1993@gmail.com

HP : 081225452317

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----